This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

Phys
420
31

34-163

[redacted]

Bd. Nov. 1871.

Phys 420.31

Gift,
November 15, 1865.

[redacted]

CATALOGUE

DES

APPAREILS

D'ACOUSTIQUE

CONSTRUITS

PAR

RUDOLPH KŒNIG

PARIS

30, RUE HAUTEFEUILLE, 30

1865

CATALOGUE

DES

APPAREILS D'ACOUSTIQUE

CONSTRUITS

PAR

RUDOLPH KŒNIG

PARIS. — IMP. SIMON RAÇON ET COMP., RUE D'ERFURTH, 1.

CATALOGUE

DES

APPAREILS

D'ACOUSTIQUE

CONSTRUITS

PAR

RUDOLPH KŒNIG

PARIS

30, RUE HAUTEFEUILLE, 30

—

1865

Phys 420.31

1865, Nov. 15.
Gratis.

TABLE DES MATIÈRES

I. Appareils pour la production du son dans les principaux cas. 3

II. Origine et nature du son. 5

III. Les trois qualités fondamentales du son, la *hauteur*, *l'intensité* et le *timbre*. . 8

IV. Les autres propriétés du son. *Propagation, réflexion, diffraction, réfraction, influence du mouvement de translation du corps vibrant*. 15

V. Vibrations simples des différents corps simples. Colonnes et masses d'air, membranes, cordes, verges, plaques. 17

VI. Communication des vibrations. Vibrations des corps composés et vibrations composés dans des corps simples. 26

VII. Phénomènes résultant de la coexistence de plusieurs sons dans l'air. *Interférence. Battements. Sons résultants*. 33

VIII. Méthodes d'observation des vibrations sonores sans le secours de l'oreille. *Méthode graphique. Méthode optique. Méthode des flammes manométriques. Méthode fondée sur l'observation des vibrations* trop lentes pour être entendues, mais rendues visibles par la grandeur de l'amplitude. 38

IX. Appareils pour la représentation mécanique des mouvements vibratoires et ondulatoires 49

X. Quelques appareils d'acoustique d'un usage pratique. 51

XI. Modèles d'anatomie élastique. 52

Note. J'ai pris pour point de départ dans la construction des instruments d'acoustique réunis dans ce catalogue, le diapason $ut_3 = 512$ vibrations simples dans une seconde. Proposé d'abord par Chladni (Akustik, Leipzig, 1830, § 29) comme donnant pour chaque *ut* des nombres qui sont des puissances de 2, ce qui le rend d'un usage excessivement commode, ce diapason a été adopté jusqu'à ce jour presque exclusivement dans les cabinets de physique, quoiqu'il fût déjà, du temps de Chladni, un peu plus bas que les différents diapasons usités alors dans la musique. Je prie donc les savants qui voudront bien m'honorer de leurs commandes et qui désireront avoir leurs instruments accordés sur un autre diapason de leur choix, de me l'indiquer en m'adressant la liste des instruments qu'ils demanderont.

APPAREILS

D'ACOUSTIQUE

I

Appareils pour la production du son dans les principaux cas.

Production de sons discontinus avec des corps solides, liquides ou gazeux, par le choc et l'explosion.

1. **Huit morceaux de bois** faisant entendre la gamme quand on les jette par terre l'un après l'autre. . . . . 4 fr.

2. **Quatre morceaux de bois** donnant l'accord parfait. . . . . 2 fr.

3. **Marteau d'eau**. . . . . 5 fr.

4. **Quatre tubes avec piston**, faisant entendre l'accord parfait, quand on ôte successivement leurs pistons. . . . . 25 fr.

Production de sons continus dans les solides, liquides, gaz et vapeurs par le frottement, l'écoulement simple, l'écoulement contre un biseau ou entre des lames flexibles.

5. **Archet de contre-basse**. . . . . 6 fr.

6. **Archet de basse**. . . . . 3 fr.

7. **Archet de violon**. . . . . 3 fr.

8. **Archet** pour faire vibrer les plaques par leur milieu . . . . . 10 fr.

9. **Tube sifflcur** de Cagniard de Latour. . . . . 8 fr.

10. **Hélicophone**. . . . . 1 fr.

11. **Lampe philosophique**. . . . . 5 fr.

12. **Sifflet de locomotive**. . . . . 15 fr.

13. **Embouchure universelle**. . . . . 6 fr.

Elle se compose d'un porte-vent en caoutchouc, terminé à l'une de ses extrémités par un bec en laiton d'où s'échappe une lame d'air quand l'autre extrémité est montée sur la soufflerie.

14. **Embouchure de tuyau** à lèvre mobile. . . . . 6 fr.

15. **Embouchure de cor**. . . . . 3 fr.

16. **Embouchure de trompette**. . . . . 3 fr.

17. **Embouchure d'ophicléide**. . . . . 3 fr.

18. **Embouchure de clarinette**. . . . . 3 fr.

19. **Embouchure de hautbois**. . . . . 3 fr.

20. **Embouchure de basson**. . . . . 3 fr.

Production de sons continus par projection périodique ou succession de chocs.

21. **Moulinet sirène** de Cagniard de Latour à tuyau cylindrique. . . . . 15 fr.

22. **Le même**, à tuyau prismatique. . . . . 15 fr.

23. **Fronde musicale**, de Cagniard de Latour. . . . . 5 fr.

24. **Sirène**. Voyez n° 31.

25. **Roues dentées**. Voyez n° 32.

Production de sons continus par la chaleur.

26. **Appareil de Trevelyan**. . . . . 12 fr.

27. **Tube de verre** et disque en toile de fil de fer pour l'expérience de M. Rijke. 5 fr.

On porte au rouge, au moyen d'une lampe à alcool, la toile métallique, et on retire ensuite la lampe ; quelques instants après se produit le son. — On obtient un son permanent en chauffant la toile métallique au moyen d'un courant galvanique.

Production de sons continus par l'électricité.

28. **Appareil de M. Wertheim**. . . . . 40 fr.

Une barre en fer doux est serrée par le milieu sur un support, une de ses extrémités est placée au centre d'une bobine dont les deux bouts communiquent avec une pile de Daniel. Aussitôt qu'un courant traverse la bobine, la barre de fer commence à résonner.

(*Ann. chim. et phys.*, 3e série, XXIII, 1848.)

29. **Téléphone de M. Reiss**. . . . . **60** fr.

Cet appareil est destiné à transmettre des sons au loin par l'électricité. Il repose sur le fait démontré par l'appareil précédent.

A la première station, le courant traverse une petite bande de platine, appliquée sur une membrane de manière à en suivre tous les mouvements, et une pointe très-mobile qui s'appuie légèrement sur cette membrane. A l'autre station, le courant traverse une bobine au centre de laquelle se trouve une barre de fer doux. Si maintenant on produit devant la membrane un son qui la fait vibrer, chaque vibration, en repoussant la pointe de la lame de platine, produira une interruption du courant; mais, d'un autre côté, chaque fermeture de courant produira dans la barre de fer doux à la deuxième station un son momentané et faible; et c'est la succession rapide et isochrone de ces petits sons agissant tous comme des chocs simples qui forme les sons continus que l'on entend. Il est vrai qu'ils ne sont pas d'une belle qualité, et qu'ils s'arrêtent de temps à autre; cela tient à ce que la membrane ne vibre pas également bien pour tous les tons, et que la manière dont les vibrations déterminent les interruptions du courant, en repoussant la petite pointe de la lame de platine, est loin d'être parfaite.

Lorsqu'un courant intermittent traverse un électro-aimant entre les pôles duquel on a monté un diapason, les branches du diapason sont attirées vers les pôles toutes les fois que le courant est fermé. Si alors le nombre des intermittences du courant est égal au nombre des vibrations du diapason, celui-ci entre en vibration.

Le diapason sera encore mis en vibration, mais plus faiblement, si le nombre de ses vibrations est un multiple entier des intermittences du courant.

30. **Interrupteur électrique** dans lequel le ressort est remplacé par un diapason; deux pinces garnies d'électro-aimants, et trois diapasons ut_{-1}, ut_1 et ut_2, arrangés de façon qu'ils puissent indistinctement servir pour l'interrupteur. **200** fr.

En faisant usage de ces différents diapasons interrupteurs, on pourra faire vibrer d'une manière continue une multitude de diapasons, dont les nombres de vibrations sont les mêmes, ou des multiples de ceux des diapasons interrupteurs, en les fixant simplement dans les deux pinces.

Si on veut faire une expérience avec cet appareil seul, on fixe les deux diapasons ut_1 et ut_2 dans les pinces et on se sert du diapason ut_{-1} pour l'interrupteur; alors tous les trois vibreront quand l'interrupteur aura été ébranlé.

II

Origine et nature du son.

Un son continu est toujours produit par une succession régulière et assez rapide de vibrations ou chocs.

31. **Sirène de Cagniard-Latour**, avec compteur. . . . . **80** fr.

32. **Appareil à roues dentées de Savart**, avec barre et compteur. . . **100** fr.

Les services que cet appareil peut rendre, ne sont pas en rapport avec l'élévation de son prix, car il est peu propre aux expériences sérieuses, pour lesquelles on le remplacera avantageusement par les sirènes du système Seebeck, n° 35.

33. **Le même appareil**, petit modèle très-suffisant, sans barre ni compteur, pouvant être placé sur une table. . . . . **200** fr.

Dans une succession de chocs, il faut distinguer deux sons, celui qui résulte de la succession même et qui varie avec la vitesse, et le son produit par le choc, qui est entièrement indépendant de la vitesse, mais qui varie avec l'appareil. Dans la plupart des cas, ce son provenant des chocs disparaît tout à fait et l'on n'entend que le son produit par la succession de ces chocs.

54. **Deux crécelles**. Dans l'une, qui est fermée et porte une soupape, le son n'est pas changé par la vitesse du mouvement, mais il change quand on ouvre la soupape. Dans l'autre, on entend le son monter quand on la fait tourner avec une vitesse croissante. . . . . **14** fr.

Cette expérience se fera beaucoup mieux avec l'appareil du n° 33 qu'avec ces crécelles, en présentant aux dents d'une roue, une fois une carte très-fine, et une autre fois une lame de bois dur qui fait ressort.

Pour produire un son, la succession des chocs ne doit pas beaucoup s'éloigner de l'isochronisme.

Si l'isochronisme n'est que peu altéré, on obtient le son qui correspond à l'intervalle moyen des chocs.

Si les intervalles entre les chocs sont alternativement t et t', et que la différence entre t et t' soit peu considérable, on obtient les deux sons $t + t'$ et $\frac{t+t'}{2}$.

Si t est beaucoup plus petit que t', mais que t' soit multiple de t, on obtient les sons $t + t'$ et t.

Si une suite de chocs, irréguliers en apparence, peut être divisée en deux ou trois séries différentes, mais formant chacune une suite de chocs isochrones, on obtient les deux ou trois sons correspondant à ces séries.

Les chocs peuvent partir de différents centres pour concourir à la formation d'un même son, pourvu qu'ils soient suffisamment isochrones et produits dans la même direction.

Deux séries de chocs isochrones dont la direction est opposée l'une à l'autre se détruisent.

Pour la démonstration de tous les phénomènes

35. **Grande sirène d'après Seebeck**. . . . . **800** fr.

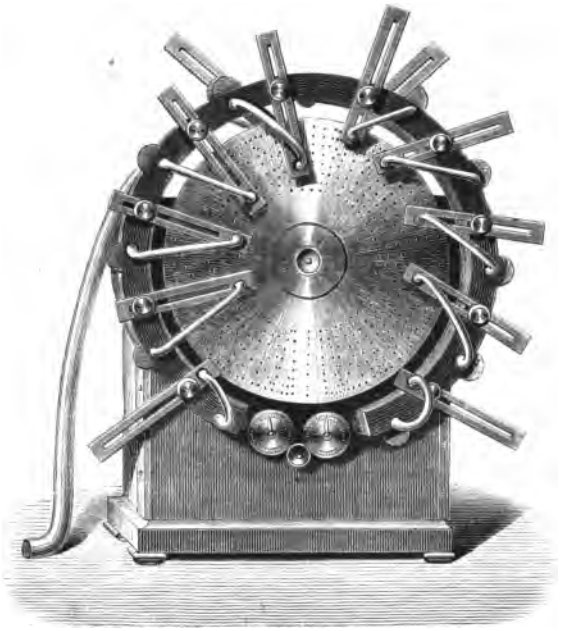

Fig. 1.

Un fort mouvement d'horlogerie fait tourner les disques en cuivre percés de trous qui sont arrangés d'une manière systématique pour les différentes expériences. Le mouvement est renfermé dans une double boîte, afin d'étouffer le bruit des rouages, et il est en communication avec un compteur donnant la vitesse de rotation, que l'on peut varier et régler au moyen d'ailettes.

Un sommier de forme circulaire, qui reçoit le vent de la soufflerie, sert à le distribuer à volonté dans douze porte-vent avec une intensité que l'on peut varier en tirant plus ou moins les clavettes. Chacun de ces porte-vent peut être fixé avec la plus grande facilité en avant du disque tournant, dans une position quelconque.

De ces neuf disques, quatre sont destinés à montrer les résultats qu'on obtient lorsque l'isochronisme des impulsions est troublé d'une manière ou d'une autre. Le cinquième disque sert à démontrer que les impulsions venant de plusieurs points différents peuvent concourir à la formation du même son. Le sixième disque sert aux expériences d'interférence. Le septième porte huit séries de trous qui produisent la gamme des physiciens. Le huitième est percé de huit séries de trous pour la suite des sons harmoniques. Enfin le neuvième disque sert à étudier les battements.

36. **Le même appareil** avec mouvement d'horlogerie plus faible, sans compteur et sans sommier, avec sept disques en carton. . . . . **250** fr.

Une disposition très simple permet de fixer trois porte-vent à une petite distance du disque tournant.

37. **Un grand disque en carton**, percé de trous, qu'on peut placer sur un mouvement de rotation quelconque (Sirène d'après M. Oppelt). . . . . **30** fr.

Ce disque porte 24 cercles de trous dont 13 donnent des notes simples, 5 les différents intervalles de la gamme, 4 des accords. On le fait parler en soufflant contre les trous, pendant qu'il tourne, par un petit tube de 1 à 3 millimètres de diamètre.

III

Étude des trois qualités fondamentales du son : la hauteur, l'intensité, le timbre.

La hauteur dépend du nombre de vibrations isochrones qu'il exécute dans un temps donné. Le son devient d'autant plus aigu que le nombre de ses vibrations est plus grand.

38. **Tableau général des nombres de vibrations simples** de la série des sons musicaux, calculés pour la gamme tempérée d'après les diapasons $ut_3 = 512$ v°. (diapason des physiciens); $la_3 = 870$ v°. (diapason officiel français); $la_3 = 880$ v°. (diapason allemand); et $la_3 = 888$ v°. (diapason anglais).

Le tableau contient en outre les longueurs d'ondes pour les notes de la gamme des physiciens, calculées d'après le diapason $ut_3 = 512$ v°., et l'étendue des principaux instruments de musique et de la voix humaine.. . . . . **2** fr.

39. **Tonomètre d'après Scheibler**, ou série fondamentale de 65 diapasons échelonnés de 8 en 8 vibrations entre $ut_3 = 512$ v°. et $ut_4 = 1024$ v°.

Chaque diapason est monté sur sa caisse de résonnance et vibre assez longtemps pour qu'on puisse compter les battements pendant une minute et demie.

Pour compléter la gamme, on a dû ajouter encore le fa_3 et le la_3, qui tombent chacun entre deux termes de la série, ce qui porte à 67 le nombre des diapasons de la collection. . . . . **2,000** fr.

S'agit-il de déterminer le nombre de vibrations d'une note, on prendra dans la série tonométrique les deux diapasons qui s'en rapprochent le plus au-dessus et au-dessous et en comptant le nombre de battements qu'ils donnent avec elle, on obtient immédiatement le nombre cherché. Si la note n'est pas comprise entre ut_3 et ut_4, il faut nécessairement la ramener par octaves dans cette gamme.

On comprend avec quelle facilité on peut, à l'aide de ce tonomètre, construire par exemple des séries de diapasons, formant des gammes tempérées pour un la_3 donné quelconque, car une fois les nombres de vibrations calculés, qui conviennent aux différentes notes, on n'aura qu'à voir de combien chacune de ces notes s'éloigne des diapasons du tonomètre, qui s'en rapprochent le plus, et par conséquent, combien de battements elle doit produire avec ces diapasons. Alors on accordera jusqu'à ce qu'elle donne le nombre de battements voulu.

Ce tonomètre est aussi l'instrument le plus commode, lorsqu'on veut faire des recherches sur la formation des gammes, sur la tolérance de l'oreille dans l'appréciation des sons et de leurs rapports, etc.

40. **Le même appareil**, mais composé de diapasons plus faibles, et sans caisses de résonnance . . . . . **1,000** fr.

41. **Quatre diapasons** formant l'accord parfait, montés sur caisses.. . . **100** fr.

42. **Diapason** $ut_3 = 512$ vibrations simples par seconde, monté sur sa caisse de résonnance... . . . . **25** fr.

43. **Grand diapason** ut_2 monté sur sa caisse. . . . . **75** fr.

44. **Diapason officiel** $la_3 = 870$ vibrations, monté sur une caisse de résonnance. . . . . **20** fr.

45. **Treize diapasons** avec étui, donnant la gamme tempérée de ut_3 à ut_4 établie sur le $la_3 = 870$ vibrations ou sur un la_3 donné quelconque. . . . . **100** fr.

46. **Treize diapasons** auxiliaires abaissés de quatre battements au-dessous des notes justes de la gamme tempérée données par les diapasons du numéro précédent, pour accorder les instruments de musique. . . . . **100** fr.

Lorsqu'on veut se servir de ces diapasons, on les fait vibrer en même temps que les notes qu'il s'agit d'accorder, on compte les battements et on s'arrête dès qu'ils sont au nombre de 4 par seconde. On fait battre la seconde, pendant cette opération, par un métronome.

Ce procédé n'exige aucune justesse d'oreille, et cependant il donne des résultats d'une précision mathématique. L'oreille a seulement à décider si la note est plus aiguë ou plus grave de quatre battements que le diapason ; et quand, dans ce cas, un doute serait possible, les battements eux-mêmes résoudraient la question pendant l'opération, car si, en haussant la note, ils deviennent plus nombreux, celle-ci est plus aiguë, et s'ils deviennent plus lents, elle est plus grave que le diapason.

Les 13 diapasons auxiliaires ne forment point entre eux-mêmes une gamme tempérée juste, car la diminution uniforme de 8 unités qu'on a fait subir à leurs nombres de vibrations, en a nécessairement troublé les rapports, en sorte que, par exemple, le premier diapason n'est pas à l'octave juste du treizième, mais ce treizième est éloigné du rapport exact de 8 vibrations simples, qu'il donne de trop.

Différents moyens pour déterminer le nombre de vibrations d'un ton :

47. **Sirène** de Cagniard de Latour. Voir n° 31.

48. **Sonomètre différentiel**. Voir n° 128.

49. **Méthode graphique**. Voir n° 202.

Les intervalles entre deux sons se caractérisent par les rapports qui existent entre leurs nombres de vibrations absolus.

Les nombres de vibrations doubles des sons perceptibles à l'oreille varient depuis 30 jusqu'à 36,000.

Pour la détermination de la limite des sons aigus, on peut se servir de l'appareil à roues dentées n° 32, en imprimant une vitesse de plus en plus grande aux roues.

Pour déterminer la limite des sons graves, il faut se servir de sons simples, car si on descend de plus en plus dans l'échelle des sons, la sensibilité de l'oreille diminue tellement vite que, les sons étant accompagnés de notes harmoniques, on finit par entendre seulement ces harmoniques, bien que la force vive du son fondamental soit beaucoup plus grande que celle de ces harmoniques.

50. **Sirène double** de M. Helmholtz. Voir n° 199. . . . . **400** fr.

Si on fait parler, sur les deux plateaux, les deux cercles de 12 trous, on obtient par un tour de manivelle, pour le son fondamental, quatre battements, pour le premier harmonique (le son 2), huit battements, pour le son 3, douze battements. En faisant maintenant tourner les disques très-lentement, et en augmentant peu à peu leur vitesse de rotation, on trouve que les premiers sons sensibles à l'oreille font entendre 12 battements à l'oreille à chaque tour de manivelle, tant que le nombre des chocs est au-dessous de 40. Les sons de 40 à 80 chocs donnent huit battements par tour de manivelle, et c'est seulement lorsque le nombre des chocs dépasse 80 qu'on obtient les quatre battements du son fondamental.

(Helmholtz, *die Lehre von den Tonempfindungen*. Brunswic, chez Vieweg.)

51. **Boîte de résonnance** entièrement fermée, dont l'intérieur peut être mis en communication avec l'oreille par un tube de caoutchouc. Sur cette boîte est tendue une corde chargée d'un poids à son milieu. . . . . **60** fr.

Le premier harmonique d'une pareille corde étant éloigné de plusieurs octaves du son fondamental, on ne saurait le confondre avec ce dernier.

Lorsqu'on a introduit le tube de caoutchouc dans l'oreille, les sons ordinaires de la corde prennent une force extraordinaire, mais si cette corde n'exécute plus que 37 vibrations, le son devient très-faible et prend déjà le caractère d'un son intermittent. A 31 vibrations, le son ne s'entend presque plus.

APPAREILS POUR L'ÉTUDE DU TIMBRE DES SONS

Le timbre d'un son dépend du nombre de notes harmoniques qui accompagnent le son fondamental, et de leur intensité relative; la différence de phase est sans influence.

52. **Série de 19 résonnateurs** de M. Helmholtz. . . . . **150** fr

Fig. 2.

Ces résonnateurs sont des globes creux en cuivre, accordés pour certaines notes et munis de deux ouvertures dont l'une établit la communication avec l'air ambiant, pendant que l'autre est surmontée d'un petit tube qui s'enfonce dans l'oreille. Si le mélange de notes harmoniques qui accompagne le son fondamental contient la note propre du résonnateur, elle est renforcée et on l'entend résonner très-distinctement.

Les résonnateurs de cette série sont accordés pour la suite des harmoniques partant de l'*ut*$_4$ de 128 vibrations simples comme son fondamental; mais le résonnateur pour ce dernier est supprimé. La série contient donc les résonnateurs correspondant aux notes suivantes : (2) *ut*$_2$; (3) *sol*$_2$; (4) *ut*$_3$; (5) *mi*$_3$; (6) *sol*$_3$; (7); (8) *ut*$_4$; (9) *ré*$_4$; (10) *mi*$_4$; (11) ; (12) *sol*$_4$; (13) ; (14) ; (15) *si*$_5$; (16) *ut*$_5$; (17 ; (18) *ré*$_5$; (19); (20) *mi*$_5$.

53. **Série de 10 résonnateurs** de M. Helmholtz. . . . . **100** fr.

Elle contient les dix harmoniques en partant de l'*ut*$_2$, comme son fondamental, c'est-à-dire les notes suivantes : *ut*$_2$; *ut*$_3$; *sol*$_3$; *ut* $_4$; *mi*$_4$; *sol*$_4$; 7 ; *ut*$_5$; *ré*$_5$; *mi*$_5$.

54. **Grand appareil pour la composition artificielle des différents timbres** des sons et notamment des timbres des voyelles, par la production simultanée d'une série de notes simples qui forment la suite harmonique. . . . **800** fr.

Il se compose de huit diapasons donnant respectivement les notes *ut*$_2$; *ut*$_3$; *sol*$_3$; *ut*$_4$; *mi*$_4$; *sol*$_4$; *ut*$_5$. Les diapasons sont fixés verticalement entre les branches de huit électro-aimants horizontaux que traverse un courant intermittent.

Les intermittences sont produites par un diapason interrupteur à 128 vibrations doubles.

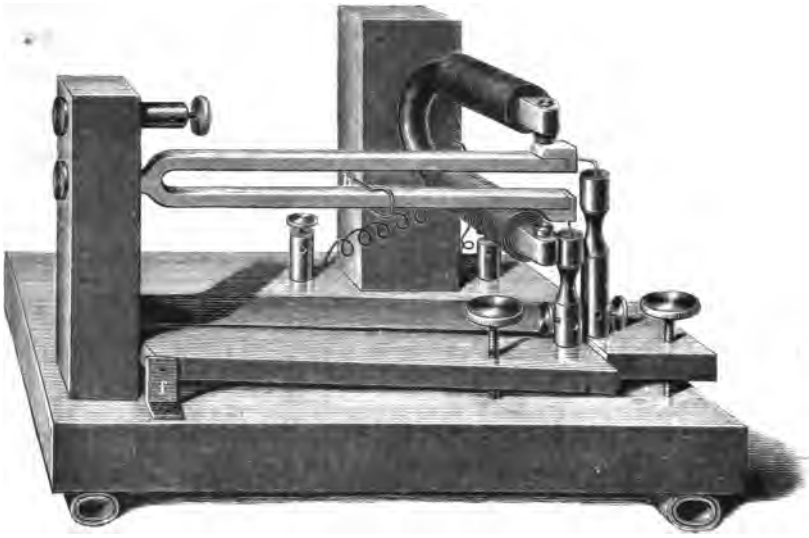

Fig. 3.

Chaque diapason est muni d'un tuyau renforçant, que l'on peut ouvrir plus ou moins à l'aide d'un clavier en communication avec les orifices. Lorsque les tuyaux sont fermés, les diapasons s'entendent à peine, mais on fait résonner chacun avec une intention voulue en appuyant sur les touches du clavier.

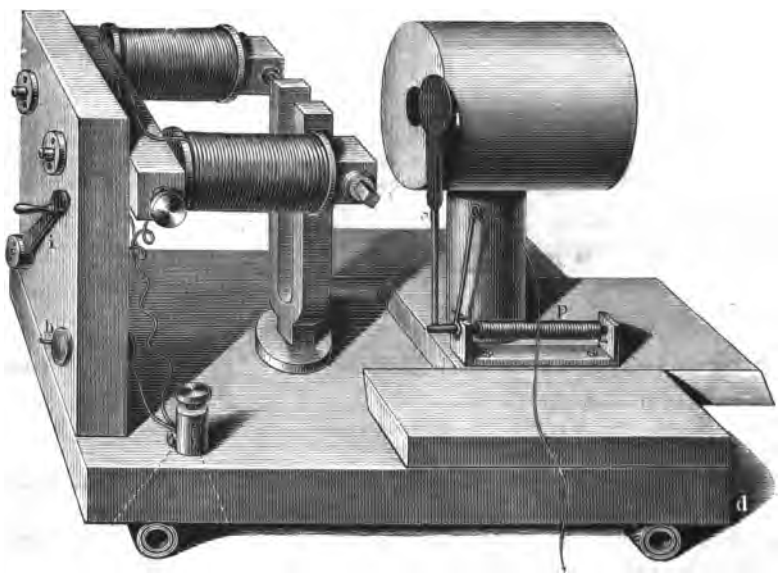

Fig. 4.

Dans l'appareil primitif de M. Helmholtz, la note fondamentale est *si* b_1, mais par le fait que ce *si* b_1 est calculé d'après le diapason $la_3 = 440$ v. d., et qu'il donne alors 120 v. d., tandis que l'*ut*$_2$ de l'appareil précédent, établi sur $ut_3 = 256$ v. d., donne 128 v. d., la différence entre les deux notes n'est que de 8 v. d.

A l'observation des différences de phase entre les sons harmoniques de l'appareil précédent, ainsi qu'à l'observation directe des formes vibratoires des différents corps, sert :

55. **Comparateur optique de M. Lissajous** . . . . . **120** fr

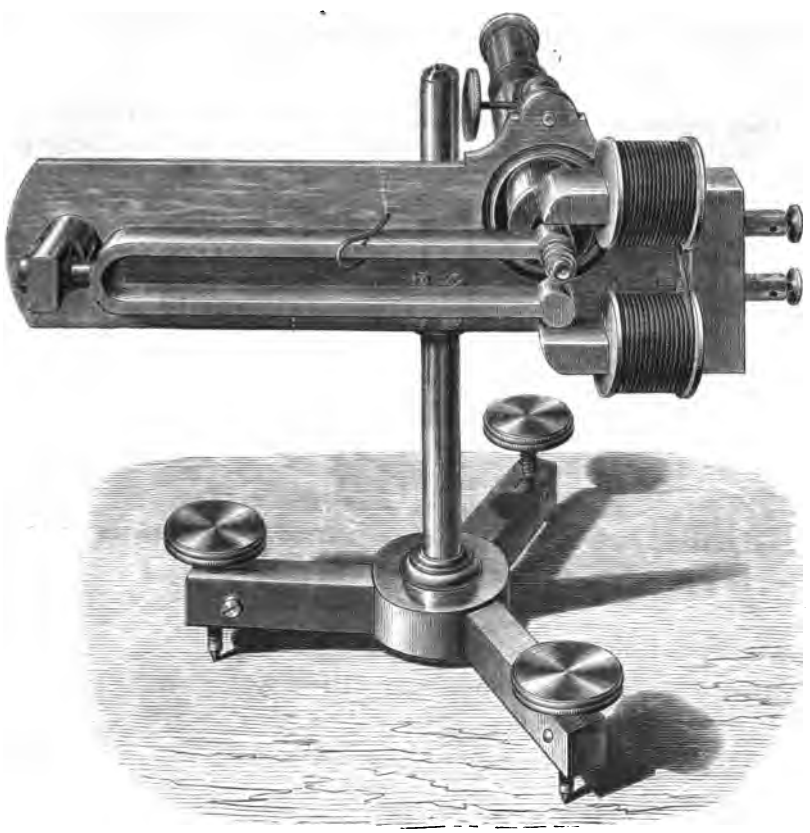

Fig. 5.

Il se compose d'un diapason dont une branche est armée d'un objectif de microscope, et l'autre d'un contre-poids. Le corps du microscope avec l'oculaire est fixé sur un support derrière l'objectif, en sorte qu'en observant un point lumineux au travers du microscope pendant que le diapason vibre, on voit ce point transformé en ligne. Si maintenant ce point se trouve sur un corps qui vibre lui-même

mais dans une direction perpendiculaire aux mouvements du diapason, on obtient la figure résultante des deux mouvements vibratoires rectangulaires.

Le diapason est monté entre les pôles d'un électro-aimant, qu'on fait traverser par un courant dont les intermittences sont produites par l'interrupteur de l'appareil précédent ou par celui du n° 50.

56. **Le même appareil** sans électro-aimant avec support en bois . . . . . **80** fr.

On fait vibrer le diapason par un simple coup d'archet.

Le timbre des voyelles se distingue de celui des autres sons par cette particularité que l'intensité des harmoniques d'une voyelle ne dépend pas de leur numéro d'ordre, mais de leur hauteur absolue, c'est-à-dire qu'*à chaque voyelle correspond une note fixe* qui prédomine toujours dans le mélange de sons qui la compose, quelle que soit d'ailleurs la hauteur de la note fondamentale sur laquelle elle est chantée ou prononcée, et cette note fixe est celle qui correspond à la masse d'air renfermée dans la cavité de la bouche pendant l'émission de la voyelle.

57. **Cinq diapasons** avec résonnateurs accordés pour les masses d'air respectives contenues dans la cavité de la bouche pendant la prononciation des voyelles *a*, *e*, *i*, *o*, *ou*... . . . . **100** fr.

Si on prononce une voyelle à voix basse, en tenant le diapason correspondant devant la bouche, on entend fortement résonner la masse d'air qu'elle renferme.

58. **Appareil** destiné à décomposer d'une manière visible le timbre des sons dans les notes simples qui le composent, au moyen de mes flammes à gaz manométriques. Voir n° 216.

IV

Étude des autres propriétés du son. Propagation, réflexion, diffraction, réfraction, influence du mouvement de la source sonore.

La propagation du son n'a pas lieu dans le vide.

59. **Ballon** renfermant une clochette qu'on n'entend point lorsqu'elle vibre dans le vide. . . . . **20** fr.

60. **Timbre à rouages** pour la même expérience. . . . . **36** fr.

Le son se propage dans l'air avec une vitesse d'environ 333 mètres par seconde à la température de 0 degré.

61. **Appareil pour mesurer les vitesses du son** à de petites distances.. **250** fr.

Cet appareil repose sur le principe des coïncidences déjà proposé par M. Bosscha. Il consiste essentiellement dans deux compteurs intercalés dans le même circuit électrique, lesquels battent simultané-

ment les dixièmes de seconde sous l'influence d'un interrupteur d'une construction spéciale. Sur la lame vibrante de l'interrupteur, est fixé un miroir, en face du miroir d'un diapason de 40 vibrations doubles, encastré dans un support isolé. Une petite boule d'acier poli se réfléchit d'abord dans le miroir de l'interrupteur, ensuite dans le miroir du diapason ; tant que la figure optique que décrit le rayon réfléchi reste immobile, on sait que l'interrupteur fait exactement ses dix vibrations par seconde; si la figure vient à varier, cela veut dire que l'intensité du courant n'est plus la même et que sa variation a influencé la marche de l'interrupteur.

En faisant alors tourner une petite manivelle, on peut à volonté accélérer ou ralentir les oscillations de l'interrupteur, sans l'arrêter dans sa marche, et on arrive ainsi très-facilement à compenser les perturbations occasionnées par le travail irrégulier de la pile.

Les coups secs donnés par les deux compteurs coïncident d'abord et s'entendent comme des coups simples, quand ces compteurs sont placés tout près l'un de l'autre, ils se dédoublent à mesure que les deux compteurs s'éloignent l'un de l'autre, et ils coïncident de nouveau toutes les fois que les distances des compteurs à l'observateur sont des multiples exacts de l'espace que le son franchit en un dixième de seconde.

L'observation de ces coïncidences fournit donc un moyen très-simple de mesurer la vitesse du son dans un espace relativement petit (*Comptes rendus de l'Académie*, 13 octobre 1862.)

La vitesse de propagation du son dans l'eau est d'environ 1,450 mètres par seconde.

62. **Appareil basé sur le même principe** que le précédent, arrangé de manière qu'on puisse plonger les compteurs dans l'eau.

La vitesse de propagation du son étant la même dans les tuyaux et dans l'espace libre, on pourrait facilement la déterminer en multipliant le nombre de vibrations du son fondamental d'un tuyau par sa longueur, si cette longueur était égale à la longueur de la colonne d'air vibrante qu'il renferme; mais l'expérience démontre que cette longueur est toujours trop courte, et il faut alors lui faire subir une correction pour pouvoir déterminer par cette méthode la vitesse de propagation du son dans l'air et probablement aussi dans les gaz à $\frac{1}{100}$ près.

Pour déterminer expérimentalement la vitesse du son dans les liquides, on peut se servir également d'un tuyau d'orgue, en le mettant dans des conditions telles que, rempli de liquide, il rende le véritable son fondamental et la série de ses harmoniques.

63. **Appareil de Chladni**, pour faire vibrer un tuyau d'orgue dans différents gaz. . . . . **30** fr.

Un petit tuyau d'orgue en zinc est encastré dans le col d'une grande cloche de verre, de sorte qu'il se trouve entouré par la cloche; le porte-vent traverse le col et communique avec une vessie extérieure munie d'un robinet.

On immerge la cloche dans l'eau de manière que le tuyau lui-même se remplisse, puis on fait arriver le gaz dans la cloche jusqu'à ce que l'eau en dehors et en dedans de la cloche soit au même niveau, afin que la pression du gaz dans la cloche soit égale à la pression atmosphérique ordinaire, puis on fait parler le tuyau en exerçant sur la vessie une pression uniforme.

64. **Appareil de M. Wertheim**, pour la production du son par les liquides. (*Ann. chim. et phys.*, 3e série, XXIII, 1848.). . . . . **1,000** fr.

Pour comparer la vitesse de propagation du son dans différents solides :

65. **Verges** d'un mètre de longueur, en différentes matières et en bois de différentes espèces, qu'on fait vibrer longitudinalement. . . . . **2** fr. et au-dessus.

Si le son, en se propageant, rencontre un obstacle, il est réfléchi. L'angle de réflexion est égal à l'angle d'incidence; le rayon sonore incident et le rayon réfléchi sont dans un même plan perpendiculaire à la surface réfléchissante.

66. **Grand appareil de timbre**, de Savart, monté sur un support à trois pieds et portant un grand tuyau à piston pour renforcer le son et le diriger dans une direction voulue. . . . . **400** fr.

67. **Appareil semblable au précédent**, dont le timbre n'a que 22 centimètres de diamètre. . . . . **150** fr.

68. **Le même**, fait pour être mis sur une table. . . . . **90** fr.

69. **Le même**, dont le timbre n'a que 16 centimètres. . . . . **60** fr.

En dirigeant le son de ces timbres d'une certaine distance contre un mur, on obtient par la superposition des ondes directes et réfléchies des ondes aériennes fixes, dans lesquelles on peut trouver les nœuds et ventres au moyen d'une membrane qu'on promène de l'appareil jusqu'au mur. Le son du grand timbre du n° 66 est si grave et si fort qu'on distingue très-facilement les endroits des nœuds et des ventres avec l'oreille.

Le son peut être diffracté, et alors la direction des vibrations change avec la direction de propagation.

70. **Oreille**, d'après Seebeck. . . . . **25** fr.

Cet appareil consiste essentiellement dans une membrane disposée de manière que les rayons sonores directs ne puissent la frapper que par diffraction, pendant qu'elle reçoit les rayons réfléchis directement.

(*Repertorium der Physik*, vol. VIII.)

Si le son, en se propageant, passe d'un milieu dans un autre, il est réfracté.

Le rayon sonore incident et le rayon réfracté sont dans un même plan perpendiculaire à la surface de séparation des deux milieux.

Le sinus de l'angle d'incidence et le sinus de l'angle de réfraction sont dans un rapport constant pour deux milieux donnés; ce rapport est sensiblement égal à celui des vitesses de propagation du son dans les deux milieux, et il est le même pour tous les sons.

71. **Grand appareil** de réfraction d'après Hajech. . . . . **200** fr.

Un tube de cuivre fermé à l'un de ses bouts par une membrane inclinée, par rapport à son axe, forme le prisme qui, à l'aide de deux robinets, peut se remplir d'un liquide ou d'un gaz quelconque. On fait passer à travers ce prisme le son que l'on produit devant la membrane perpendiculaire. Un résonnateur de Helmholtz accordé pour ce son, est fixé en avant de la membrane inclinée, sur un support qui tourne autour d'un axe situé sous le centre de cette membrane, en sorte que la distance de l'orifice du résonnateur à la membrane reste toujours la même quand on promène le résonnateur.

La petite tubulure du résonnateur est mise en communication avec l'oreille par un tube de caoutchouc.

Pour obtenir que les rayons sonores qui ont traversé le prisme agissent seuls sur le résonnateur, la moitié du prisme et tout le support avec le résonnateur sont enfermés dans une boîte semi-circulaire.

Une manivelle fait tourner le support à l'intérieur, en même temps qu'elle indique sa position, et le tube de caoutchouc pour l'oreille passe par un trou qu'il remplit exactement.

Pour éviter toute réflexion, les parois intérieures de la boîte sont ouatées.

72. **Grande lentille**, d'après Sondhaus. . . . . **100** fr.

Cette lentille est formée par deux membranes très-minces en caoutchouc **soufflé**, que l'on gonfle convenablement en y introduisant du gaz acide carbonique. Les sons produits dans l'un des foyers sont ceux qu'on entend avec le plus de force au foyer opposé.

Si la source d'où partent les vibrations d'un son se rapproche ou s'éloigne de l'oreille avec une vitesse suffisante, le nombre de vibrations qui arrivent à l'oreille est augmenté dans le premier cas, et diminué dans l'autre. En conséquence, le son paraît trop aigu dans l'un, et trop grave dans l'autre cas.

73. **Deux diapasons** ut_4, montés sur leurs caisses de résonnances et accordés pour donner exactement quatre battements par seconde. . . . . **50** fr.

On peut varier l'expérience de plusieurs manières. Voici la plus simple :

On met les deux diapasons l'un à côté de l'autre, à quelque distance de l'oreille ; puis, ayant constaté d'abord qu'ils donnent bien les quatre battements par seconde, on rapproche le plus grave des deux de l'oreille, d'environ 60 centimètres, tout en continuant de compter les battements. L'oreille reçoit alors de ce diapason une vibration double de plus, pendant le temps employé à le déplacer, et l'on constate alors la perte d'un battement dans le même temps. Si c'est le plus aigu des deux diapasons que l'on rapproche de l'oreille, on obtient un battement de plus.

Si on tient l'un des diapasons à la main, les yeux fixés sur un pendule qui bat les secondes, on arrive sans peine à lui donner un mouvement de va-et-vient, tel qu'on entende toujours alternativement trois et cinq battements par seconde. J'ai enfin fait l'expérience en mettant les deux diapasons à une certaine distance l'un de l'autre, et en promenant entre eux, soit l'oreille elle-même, soit ce qui est de beaucoup préférable, un résonnateur ut_4, mis en communication avec l'oreille par un tube en caoutchouc.

Je ferai encore observer qu'on arrive, par le même procédé, à déterminer approximativement la longueur d'onde d'un son et sa hauteur.

74. **Appareil de M. Mach**. . . . . **100** fr.

Une longue perche creuse porte à une de ses extrémités une anche libre. Fixée à son milieu sur un tour, on peut la mettre en rotation et faire parler l'anche, en faisant pénétrer un courant d'air dans la perche par son axe de rotation. Si maintenant l'oreille est placée dans le prolongement de cet axe, on entend toujours la même note, mais si on se place dans le plan de rotation, cette note devient tour à tour plus aiguë et plus grave selon que l'anche se rapproche ou qu'elle s'éloigne de l'oreille.

V.

Vibrations simples des différents corps simples.

VIBRATIONS DE L'AIR

75. **Grande soufflerie**. . . . . **500** fr.

Le soufflet a 90 centimètres de longueur et 40 centimètres de largeur; il est construit d'après le système de M. Cavallié-Coll, donne le vent avec une égalité parfaite et peut résister à une très-forte pression. La table porte un sommier d'orgue à touches propre à recevoir toute espèce de tuyaux.

76. **Soufflerie** ordinaire. . . . . **180** fr.

Elle se compose d'une table munie d'un soufflet de 55 centimètres de longueur et de 35 centimètres de largeur et d'un sommier d'orgue à touches.

77. **Manomètre** pour mesurer la pression du vent. . . . . **10** fr.

78. **Petit régulateur** du vent, de M. Cavaillé-Coll. . . . . **30** fr.

Cet instrument est de la plus grande utilité, surtout pour les expériences avec la sirène.

Aux ventres des ondes sonores, les vibrations de l'air atteignent le maximum d'amplitude; aux nœuds, leur amplitude est nulle.

79. **Tuyau** ayant une paroi en glace, dans lequel on introduit une membrane qui résonne dans toute la longueur du tuyau, excepté à l'endroit du nœud. . . . . **15** fr.

Aux nœuds des ondes sonores, l'air éprouve le maximum de condensation; aux ventres, la condensation est nulle.

80. **Long tuyau**, dont l'une des parois est très-mince. Lorsqu'on la saupoudre avec du sable, il est rejeté des endroits où se trouvent les nœuds de la colonne d'air vibrante. . . . . **10** fr.

On remplace les deux tuyaux précédents très-avantageusement par mon

81. **Tuyau** ouvert à flammes manométriques. Voir n° 215. . . . . **30** fr.

Ce tuyau a aussi une paroi vitrée comme le n° 79, afin de permettre l'expérience de la membrane, qu'on introduit dans la colonne d'air vibrante.

82. **Tuyau** fermé à flammes manométriques. Voir n° 214 pour les mêmes expériences que ci-dessus. . . . . **30** fr.

On peut fermer un tuyau à l'endroit des nœuds ou l'ouvrir au milieu des ventres sans que le son change.

83. **Tuyau** muni d'une clavette placée au nœud de vibrations, permettant de former le tuyau en cet endroit. . . . . **8** fr.

84. **Tuyau** portant une soupape au ventre de vibrations. . . . . **6** fr.

Si l'on ouvre un tuyau à un autre endroit qu'au milieu d'un ventre de vibration, le son change, et ce changement dépend de la grandeur du trou.

85. **Tuyau** qui permet d'ouvrir au même endroit des trous de différentes grandeurs et de différentes formes. . . . . **15** fr.

L'embouchure a une influence sur le son, qui devient d'autant plus grave que l'ouverture de la bouche est plus petite, et avec une embouchure de flûte et de cor; le son est d'autant plus élevé que la vitesse du courant d'air est plus grande.

86. **Trois tuyaux** égaux, avec lumière, de différentes largeurs. . . . . **15** fr.

87. **Tube** qu'on peut fermer à son extrémité successivement avec quatre plaques; chacune est percée d'un trou qui lui sert d'embouchure. . . . . **15** fr.

On obtient le son en soufflant contre les bords des trous, qui varient de grandeur, avec le porte-vent du n° 13.

88. **Cube** arrangé de la même manière que le tube du n° 87. . . . . **15** fr.

89. **Tube** en gutta-percha, préparé pour recevoir un bec de clarinette et une embouchure de flûte. . . . . **3** fr.

90. **Tuyau** à lèvre mobile. . . . . **8** fr.

91. **Tuyau** à lèvre mobile, qui permet en même temps d'essayer un grand nombre de biseaux différents, pour juger de leur influence sur le son. . . . . **15** fr.

La position de l'embouchure n'a pas d'influence sur le son.

92. **Deux tuyaux** égaux, dont l'un est embouché par le fond. . . . . **16** fr.

L'influence de la résistance des parois sur le son a lieu jusqu'à une certaine limite, au-dessus de laquelle elle devient nulle. Au-dessous de cette limite, le son du tuyau est d'autant plus grave et plus sourd que la résistance des parois est moindre.

Le son du tuyau est aussi plus grave et moins clair si la surface intérieure des parois est peluchée.

Si la résistance des parois est suffisante et leur surface intérieure également lisse, la nature des parois n'a pas d'influence sensible sur le son.

93. **Trois tuyaux** égaux, en bois de différentes épaisseurs. . . . . **15** fr.

94. **Deux tuyaux** égaux, dont un a les parois intérieures garnies de drap. . **10** fr.

95. **Trois tuyaux** égaux, un en cuivre, un en bois et un en carton. . . . **21** fr.

D'après la loi empirique de M. Cavaillé-Coll, la longueur d'un tuyau d'orgue est égale à la longueur d'onde théorique du ton fondamental de ce tuyau, moins deux fois sa profondeur, la largeur n'ayant presque pas d'influence sur la tonalité.

96. **Cinq tuyaux** de même profondeur et de longueur différentes, donnant les notes *ut, ré, mi, fa, sol*, et quatre tuyaux de même longueur et de profondeur diverses, donnant les notes *ré, mi, fa, sol*. . . . . **60** fr.

97. **Tuyau** cubique vitré, à trois pistons, au moyen desquels on peut diminuer la masse d'air alternativement selon les trois dimensions, pour voir l'influence comparative des différentes dimensions sur le son. . . . . **40** fr.

En diminuant la longueur ou la profondeur du tuyau, on obtient tout à fait le même résultat et l'on peut produire toute la gamme, tandis qu'en diminuant la largeur du tuyau et en même temps celle de la bouche, le ton ne monte pas plus en tout qu'à peu près d'un demi-ton.

Les tuyaux rectangulaires fermés ont le même son, quelle que soit leur largeur, si le produit de la hauteur par la profondeur est le même; mais cette loi n'est vraie que dans de certaines limites.

98. **Quatre tuyaux** rectangulaires, dont un cubique, qui donnent le même son. **32** fr.

99. **Huit tuyaux** rectangulaires, dont un cubique, pour montrer les limites de la loi précédente. . . . . **64** fr.

Dans les volumes d'air semblables, les nombres de vibrations sont en raison inverse des dimensions homologues.

100. **Deux tuyaux** cubiques fermés. . . . . **18** fr.

101. **Deux tuyaux** prismatiques triangulaires fermés. . . . . **20** fr.

102. **Deux tuyaux** prismatiques rectangulaires fermés. . . . . **16** fr.

Lorsqu'on augmente graduellement la vitesse du courant d'air qui fait sonner un long tuyau, la colonne d'air vibrante se divise successivement en plusieurs ondes égales, et l'on obtient alors une série de sons harmoniques qui passent brusquement de l'un à l'autre.

103. **Deux longs tuyaux** de verre, l'un ouvert, l'autre fermé, pour donner la suite des sons harmoniques. . . . . **10** fr.

104. **Un long tuyau** ouvert donnant une suite de sons correspondant aux nombres 1, 2, 3, 4, ... , qui peut être ouvert à chaque ventre de vibration, et fermé à chaque nœud au moyen d'un piston. . . . . **20** fr.

105. **Un long tuyau fermé à un bout**, dans le genre du précédent, avec six soupapes et un piston, donnant les sons correspondants aux nombres 1, 3, 5, 7. . **20** fr.

106. **Un long tuyau, fermé aux deux bouts**, avec l'embouchure mobile, qui donne, si l'embouchure reste fixe au milieu, les sons 1, 3, 5, 7; si elle est mobile, les sons 1, 2, 3, 4. . . . . **50** fr.

Comme on ne peut pas déplacer une embouchure, ce sont, dans ce tuyau, les deux fonds formés par deux pistons fixés à un même cadre qu'on peut déplacer au moyen d'une vis, de façon à faire varier à volonté la position de l'embouchure par rapport aux deux extrémités.

107. **Tuyau circulaire**, donnant les sons 1, 3, 5, 7, qui porte une clavette à l'endroit où se forme toujours un nœud. . . . . **25** fr.

Quand une colonne d'air, vibrant longitudinalement, produit des sons harmoniques, le même son est représenté par une onde sonore de même longueur, quel que soit le diamètre du tube. Toutefois l'onde voisine de la bouche est plus courte, et sa longueur dépend du diamètre du tube.

108. **Flûte** se composant d'une embouchure, de deux tubes ouverts, chacun de la longueur de l'onde sonore, et d'un tube de la longueur d'une demi-onde.. **10** fr.

109. **Appareil à pistons** hydrauliques, se composant de deux tuyaux de verre de différents diamètres, bouchés par deux colonnes d'eau mobiles. . . . . **60** fr.

On peut amener, pendant que les tuyaux sonnent, les colonnes d'eau, au moyen des robinets, aux divisions pour mesurer les longueurs des ondes sonores prises entre deux nœuds, ou les mettre dans d'autres positions pour comparer des sons différents à des ondes inégales.

Tuyaux pour étudier l'influence de la forme des tuyaux sur le son, et modèles de tuyaux de différents timbres :

110. **Quatre tuyaux** contenant tous la même masse d'air et ayant l'embouchure de la même grandeur, dont un tétraédrique, un cubique, un cylindrique et un sphérique. . . . . **40** fr.

111. **Trois tuyaux** de même longueur et contenant le même volume d'air; le premier est prismatique et les deux autres sont coniques: l'un s'élargissant à partir de la bouche, tandis que l'autre se rétrécit. . . . . **18** fr.

112. **Cinq tuyaux** de même longueur, mais coudés de différentes manières.. **40** fr.

113. **Huit tuyaux** ouverts, formant la gamme de ut_3 à ut_4. . . . . **40** fr.

114. **Quatre tuyaux** ouverts, formant l'accord parfait.. . . . . **20** fr.

115. **Quatre tuyaux** fermés, formant l'accord parfait. . . . . **20** fr.

116. **Quatre tuyaux** ouverts, à embouchure circulaire.. . . . . **20** fr.

117. **Quatre tuyaux** embouchés de manière à imiter le hautbois. . . . . **20** fr

VIBRATIONS DES MEMBRANES

Les membranes peuvent, selon leur nature, se subdiviser avec une très-grande facilité. On peut donc produire sur les membranes des figures en les approchant seulement d'un corps qui vibre énergiquement, et à cause de leur grande sensibilité, on s'en sert aussi pour constater les ventres qui se forment dans les grandes masses d'air renfermées dans un espace limité et mises en vibration par un son quelconque. On les promène à cet effet dans l'espace, après avoir répandu du sable sur leur surface.

La membrane de tension donnée, comme tout autre corps, n'a qu'une série déterminée de sons propres qu'elle peut rendre, et elle ne diffère sous ce rapport des autres corps que par l'étendue un peu plus grande des limites de sa sensibilité autour de chacun de ces sons théoriques.

118. **Membrane circulaire** en caoutchouc, qu'on peut tendre à volonté.. . **10** fr.

119. **Membrane circulaire** en papier de 30 cent. de diamètre . . . . . **6** fr.

120. **Membrane carrée** en papier. . . . . **5** fr.

121 **Membrane triangulaire** en papier. . . . . **5** fr.

122. **Membrane circulaire** en papier végétal, de 10 cent. de diamètre.. . **2** fr.

123. **Membrane carrée**. . . . . **2** fr.

124. **Membrane triangulaire**. . . . . **2** fr.

125. **Timbres non tournés**, de 10 ou 12 centimètres de diamètre, munis d'un manche. . . . . **6** à **20** fr.

126. **Cloche elliptique** munie d'un manche. . . . . **12** fr.

L'intensité du son de ces timbres et cloches est telle, que souvent il suffit de trois coups d'archet pour produire une figure sur une membrane placée à plusieurs mètres de distance.

127. **Sifflet ouvert**, percé de plusieurs trous pour produire des figures sur les membranes. . . . . **5** fr.

VIBRATIONS DES CORDES

Dans les cordes qui vibrent transversalement, les nombres de vibrations sont en raison directe des racines carrées des poids tenseurs, en raison inverse des racines carrées des densités, en raison inverse des diamètres et en raison inverse des longueurs.

128. **Sonomètre différentiel de Marloye**, avec assortiment de poids. . **100** fr.

Les cordes, sur cet appareil, tel que je le construis, sont montées entre des chevilles de piano ordinaires et des chevilles renversées avec écrous. Ces dernières permettent d'obtenir de petites variations de tension, la tension ayant été d'abord produite plus grossièrement au moyen des chevilles ordinaires.

L'appareil porte trois règles divisées. La première donne la gamme chromatique tempérée, la seconde donne la gamme chromatique vraie, plus les divisions harmoniques de la corde, et la troisième est un mètre divisé en millimètres dans toute sa longueur. Avec cet appareil et le diapason, on peut facilement déterminer le nombre de vibrations d'un son quelconque.

Pour vérifier la loi des tensions avec cet instrument, on tend une corde avec la somme des poids, puis, à l'aide des chevilles que porte l'instrument, on tend une seconde corde qu'on amène à l'unisson de la première, on réduit le poids tenseur des trois quarts, et l'on compare le son à celui de la corde fixe.

Pour la vérification de la loi des diamètres, on compare alternativement le son des cordes dont le diamètre est connu à celui de la corde fixe, que l'on amène à l'unisson de l'une d'elles. On procède encore de même pour la loi des densités, mais pour celle des longueurs, ainsi que pour les autres expériences, on ne se sert plus que de la corde fixe, à laquelle on donne alors le degré de tension convenable pour qu'elle sonne le mieux possible.

Dans les cordes de même matière qui vibrent longitudinalement, le nombre des vibrations est en raison inverse des longueurs, quel que soit le diamètre. La tension n'a que peu d'influence sur le son.

129. **Appareil pour les lois des vibrations** longitudinales des cordes, dont la longueur entre les étaux est d'un mètre et demi. . . . . **150** fr.

Ses extrémités sont garnies d'étaux faisant l'office de chevalets fixes, et conçus de manière à s'opposer à la transmission des vibrations au delà des extrémités de la corde. Une pince mobile en plomb et une règle divisée permettent de faire la gamme.

150. **Le même appareil**, mais dont la longueur entre les étaux est d'un mètre et demi au lieu d'un mètre. . . . . **150** fr.

151. **Deux cordes de sonomètre** en laiton, dont les diamètres sont comme 1 à 2. . . . . **50** c.

152. **Deux cordes de même diamètre**, l'une en fer et l'autre en platine. . **7** fr.

153. **Bobine de cordes** pour être tendues par les chevilles. . . . . **1** fr. **50**

154. **Grand sonomètre** à 8 cordes, d'après M. Barbereau, pour les expériences sur la formation des gammes, accords, etc. . . . . **300** fr.

Les divisions de la gamme des physiciens, comme celle de la gamme tempérée, sont tracées sur toute la largeur de la table et aboutissent à deux règles divisées en millimètres. Les chevalets ordinaires sont remplacés par des pièces d'une construction spéciale, qui, fixées sur les cordes, restent parfaitement en place quand on fait vibrer celles-ci en les pinçant.

Instruments de musique basés sur les sons harmoniques qui résultent des subdivisions des cordes.

155. **Trompette marine**. . . . . **50** à **100** fr.

156. **Harpes éoliennes**. . . . . **50** à **100** fr.

VIBRATIONS DES VERGES ET DES LAMES.

Dans les verges qui vibrent transversalement, le nombre des vibrations est en raison inverse du carré des longueurs et en raison directe des épaisseurs, quelle que soit la largeur.

157. **Quatre lames** en acier, dont deux de même longueur, même épaisseur et largeur différente; une troisième, même longueur et épaisseur double, et une quatrième, même épaisseur que la première, mais dont la longueur est à celles des trois autres :: 1 : $\sqrt{2}$. . . . . **30** fr.

158. **Quatre lames** en laiton. . . . . **15** fr.

159. **Quatre lames** en sapin. . . . . **5** fr.

140. **Six lames** de même dimension, cinq en bois de différente espèce et différente densité, et une en laiton pour montrer l'influence de la densité, ainsi que les modifications que peut y apporter la contexture organique, et enfin comparer la sonorité. . . . . **12** fr.

Pour faire vibrer toutes ces verges, on doit les tenir entre les quatre doigts de la main gauche aux endroits des deux nœuds du son fondamental, et les frotter au milieu avec un archet, perpendiculairement à leur plan.

Les personnes qui n'ont pas l'habitude de ces expériences se serviront avec avantage d'un

141. **Petit support** avec deux chevalets qu'on peut fixer à une distance voulue l'un de l'autre, et arrangé de façon que la verge mise en place ne puisse pas se déplacer latéralement . . . . . **10** fr.

142. **Deux verges plates en laiton**, l'une de 1 mètre, l'autre de 50 centimètres pour la loi des harmoniques dans les vibrations transversales. . . . . **12** fr.

Une lame courbée rend un son plus grave que lorsqu'elle est droite, et les deux lignes nodales du son fondamental se rapprochent l'une de l'autre.

143. **Quatre verges en laiton** de même longueur, dont une droite et les autres de plus en plus courbées. . . . . **15** fr.

Dans les verges de même matière qui vibrent longitudinalement, le nombre des vibrations est en raison inverse des longueurs, quels que soient le diamètre et la forme.

144. **Quatre verges en acier**, deux cylindriques de 1 mètre de long et de diamètres différents, une plate de même longueur et une cylindrique moitié plus courte . . . . . **40** fr.

145. **Quatre verges en sapin**. . . . . **6** fr.

Le son est un peu plus aigu dans un tube que dans une verge, si l'épaisseur des parois du tube est moindre que le tiers de son diamètre.

146. **Une verge et un tube de laiton** de 1 mètre de longueur et du même diamètre. . . . . **40** fr.

Une verge éprouve de grands allongements et rétrécissements pendant qu'elle vibre longitudinalement.

147. **Une longue verge en laiton**, montée sur un support et devant laquelle une boule est suspendue, de manière qu'elle arrive tout juste à la toucher. Aussitôt que la verge est mise en vibration, la bille est repoussée avec force. . . . **40** fr.

Le même support peut servir pour fixer aussi d'autres verges et baguettes.

Pour les lignes nodales que le sable dessine sur deux faces opposées d'une verge qui vibre longitudinalement, voir les expériences de M. Terquem, n° 186.

On peut encore observer l'opposition des nœuds sur deux faces d'un

corps qui vibre longitudinalement, si ce corps n'a plus que l'épaisseur d'un crin.

148. **Petit appareil** composé d'un crin tendu entre deux petites planchettes, qui sont montées sur une forte règle . . . . . **6** fr.

En faisant vibrer transversalement avec un archet une de ces planchettes, on produit dans le crin des vibrations longitudinales et les petits anneaux en crin qu'il porte marchent vers de certaines places, qu'ils quittent pour se placer aux endroits opposés, aussitôt qu'on tourne le haut de l'appareil en bas.

149. **Instrument de musique** fondé sur les vibrations transversales des lames, dit *claque-bois* . . . . . **15** fr.

Il se compose de douze lames de sapin, formant une octave et demie, qu'on frappe avec un morceau de bois recouvert de peau.

150. **Instrument de musique** fondé sur les vibrations longitudinales des verges. . . . . **60** fr.

Il se compose de vingt verges en sapin, implantées dans un support, qu'on frotte avec les doigts, qu'on a préalablement trempés dans la poudre de résine. La succession des verges blanches forme la gamme diatonique, les verges rouges représentent les demi-tons.

VIBRATIONS DES PLAQUES

Dans les plaques semblables, le nombre des vibrations est en raison inverse des dimensions homologues; et dans les plaques de même forme, le nombre des vibrations est en raison inverse des surfaces.

151. **Banc surmonté de six plaques de laiton**, trois rondes et trois carrées. . . . . **70** fr.

Dans les plaques de même grandeur, les épaisseurs sont entre elles :: 1 : 2, et dans celles de même épaisseur, les diamètres sont entre eux dans le même rapport.

152. **Banc plus petit**, surmonté de trois plaques seulement, rondes ou carrées, pour les mêmes démonstrations. . . . . **40** fr.

153. **Une plaque circulaire** en laiton de 30 centimètres de diamètre . . . **15** fr.

154. **Une plaque carrée** de 30 centimètres de côté. . . . . **15** fr.

155. **Une plaque triangulaire**. . . . . **15** fr.

156. **Plaques polygones**, chacun. . . . . **15** fr.

157. **Grand support** universel pour plaques. . . . . **40** fr.

Il se compose de quatre pinces construites et montées sur une tablette de manière qu'elles puissent servir tout aussi bien à fixer la plaque en plusieurs points qu'à lui fournir seulement des points d'appui ; dans ce dernier cas, les vis de pression marquent les points où la plaque est appuyée.

158. **Support simple** pour plaques. . . . . **10** fr.

Il se compose d'un pied tourné, avec virole et écrou, sur lequel on monte les plaques, qui sont percées d'un trou au centre de figure.

Pour l'explication des figures que le sable dessine sur les plaques, voir les expériences de M. Wheatstone, n° 189.

159. **Cinq plaques en laiton et trois en bois.** Voir n° 189. . . . . **80** fr.

160. **Collection de figures** imprimées directement comme on les a obtenues sur les plaques.

Lorsque, dans une plaque circulaire, l'élasticité varie de manière à donner des axes différents, le son fondamental qu'elle rend, ainsi que la figure que le sable dessine sur elle, diffère pour chaque cas si on l'attaque avec l'archet à l'extrémité de deux de ces axes ou entre deux axes.

161. **Une plaque circulaire en bois,** montée sur un manche. . . . . **3** fr.

162. **Appareil** pour démontrer que la rotation du lycopode sur les plaques circulaires est due à la translation des lignes nodales autour du cercle. . . . . **70** fr.

L'appareil est monté comme celui du n° 69, seulement le timbre est remplacé par une plaque de laiton de 35 centimètres de diamètre.

On met le tuyau au-dessus de la plaque à l'unisson du ton qu'elle donne en vibrant; alors chaque ventre de vibration qui passe sous son ouverture le fait sonner. Ces intermittences dans le son qu'on obtient alors, et qui d'abord sont très-rapides, se ralentissent si l'on cesse d'attaquer la plaque avec l'archet, et souvent on entend encore passer les ventres alors que le lycopode est déjà en repos.

Les plaques courbées forment nécessairement comme les plaques planes des lignes nodales. Le son fondamental d'une cloche la divise en quatre parties égales.

163. **Cloche en verre** montée sur un support; quatre perles pendent autour d'elle et la touchent. . . . . **25** fr.

Si l'on fait vibrer la cloche en passant l'archet sur son bord juste au milieu entre deux perles, celles-ci restent en repos ou ne font que de très-petits mouvements, tandis qu'elles sont lancées avec une grande force, si l'on promène l'archet sur un autre endroit du bord de la cloche.

VI

Communication des Vibrations. — Vibrations des corps composés. Vibrations composées dans les corps simples

Si un corps élastique vient à être frappé par une succession de chocs isochrones de même période que les vibrations qui lui sont propres, il

entre lui-même en vibration, quand même ces chocs, pris séparément, seraient aussi faibles que le sont les ondes aériennes qui partent d'un corps vibrant.

164. **Deux diapasons** ut_3 à l'unisson montés sur leurs caisses résonnantes.. **50** fr.

On place les diapasons à plusieurs mètres l'un de l'autre ; si alors on fait fortement vibrer l'un pendant quelque temps, l'autre commence à vibrer par influence.

165. **Deux plaques de laiton** de même forme et de même épaisseur, dont l'une est montée sur un manche.. . . . . **25** fr.

On fait vibrer la plaque, montée sur le manche, par un coup d'archet, et en le tenant au-dessus de l'autre plaque fixée sur un support, on voit que le sable dessine sur celle-ci la même figure.

166. **Appareil à flammes chantantes** de M. le comte Schaffgotsch. . . **150** fr.

Un son, produit à distance, met en vibration la colonne d'air dans un tube de verre dans lequel brûle une flamme de gaz. Cette vibration agit sur la flamme, qui commence à vibrer, et, réagissant sur la colonne d'air, la fait résonner avec une grande intensité.

Si on allume deux petites flammes sur les deux becs et que l'on donne la note du tube de verre ou son octave grave, la flamme dans l'intérieur du tube s'éteint. Mais si on fait les deux flammes plus grandes, celle du tube commence à chanter.

Si on n'allume qu'une seule petite flamme sur le bec extérieur, et qu'on donne la note du tube, la flamme s'élève et peut alors servir à allumer le grand bec circulaire, disposé un peu au-dessus, à une distance suffisante pour que la flamme, à l'état de repos, n'allume pas le gaz qui s'écoule de ce bec.

On pourra ensuite mettre sur les deux becs deux tubes, à peu près à l'unisson, et on obtiendra des battements que le mouvement oscillatoire des flammes rendra visibles.

Au moyen du miroir tournant qui est monté à côté de l'appareil, on rend visible la discontinuité de la flamme pendant qu'elle vibre.

Fig. 6.

On peut imprimer au bec excentrique un mouvement de rotation par une corde qui s'enroule sur la poulie fixée sous le miroir tournant; et alors on peut voir le petit cercle lumineux se changer en une

couronne discontinue qui semble formée de perles lumineuses dès que la flamme de l'autre bec vibre dans le tube.

En introduisant un bec allongé par deux tubes de cuivre dans un grand tube de verre, la flamme prend la forme d'une double spirale.

NOTE. Le grand tube de verre n'est pas compris dans l'appareil.

Les deux tuyaux d'orgue accordés pour les tubes de verre portent au bout quelques trous qui permettent de changer un peu leur tonalité. Ceci est nécessaire, parce que les notes des tubes changent avec la température de l'air, que la flamme échauffe de plus en plus.

167. **Appareil** composé d'une caisse à piston avec une fente dans la table, et d'une corde tendue au-dessus de cette fente. . . . . **15** fr.

On peut mettre la corde à l'unisson d'un volume d'air voulu, ou le volume d'air de la caisse à l'unisson avec une tension quelconque de la corde.

La communication des vibrations d'un corps à un autre corps à son unisson a lieu aussi à travers les liquides.

168. **Appareil de Savart,** composé d'une capsule avec une baguette fixée sous son fond et d'une membrane tendue sur une petite coupe, qu'on fait nager sur l'eau dont la capsule est remplie. . . . . **16** fr.

En produisant dans la verge des vibrations longitudinales, on voit par le mouvement du sable dont on a saupoudré la membrane que celle-ci vibre normalement.

169. **Autre appareil** pour la transmission des vibrations à travers les liquides. **10** fr.

Cet appareil se compose d'une caisse en bois sonnant ut_3, sur laquelle est fixée une capsule en palissandre, plus un verre de cristal et un pied de diapason. On verse du mercure dans la capsule, on visse le diapason ut_3 sur son pied, et après l'avoir mis en vibration, on appuie son pied sur le mercure et l'on entend la caisse sonner comme si le diapason y était fixé.

Si deux corps communiquent ensemble par des solides, la communication des vibrations a encore lieu, même dans le cas où ils seraient déjà assez éloignés de l'unisson. Ils s'influencent alors de manière à donner le même son.

170. **Deux systèmes,** dont chacun est composé de deux lames de bois, liées ensemble par deux tasseaux. Celles du premier système forment entre elles l'unisson : celles du second l'intervalle d'un demi-ton à un ton. . . . . **10** fr.

On obtient du second système le même ton, quelle que soit la lame au moyen de laquelle on le met en vibration, comme cela a lieu dans le premier; mais les lignes nodales, qui sont les mêmes sur les deux lames égales, varient sur les lames différentes.

171. **Trois caisses égales.** Les deux tables de la première sont à l'unisson, celles de la seconde aussi, mais de quelques tons plus bas que celles de la première. Les tables de la troisième forment entre elles l'intervalle d'un demi-ton à un ton. . . . . **24** fr.

En faisant vibrer chaque caisse par les deux tables, on voit que la troisième, comme les deux autres ne donne qu'un seul et même son, qu'elle soit ébranlée par l'une ou par l'autre des tables. En faisant, maintenant vibrer les trois caisses par la masse d'air que chacune d'elles contient, on obtient encore pour chacune le son qu'elle donnait dans l'expérience précédente, et l'on entend par conséquent la masse d'air de la seconde vibrer quelques tons plus bas que celle de la première, quoiqu'elle soit de même volume et de même forme.

La construction des tuyaux à anches repose sur cette même loi. Les deux corps réunis qui s'influencent ici réciproquement sont l'anche et la colonne d'air contenue dans le tuyau d'harmonie.

172. **Anche libre**, monté dans un porte-vent vitré, surmonté d'un tube qui est à l'unisson avec cette anche, et qu'on peut allonger jusqu'au triple de sa longueur. . . . . **25** fr.

Si l'on allonge le tube, le son ne baisse pas en proportion de cet allongement. Il baisse d'abord plus lentement et ensuite plus vite, de sorte qu'il arrive justement à l'octave grave lorsque la longueur du tuyau est doublée. En allongeant le tuyau encore d'une fois sa longueur, le son saute d'abord à la note qu'il donnait au point de départ, puis il baisse dans une proportion analogue à celle du cas précédent, mais seulement d'une quarte. (Expériences de M. Weber.)

Le ton d'une anche, qu'on fait parler très-fortement, descend, tandis que le ton d'une colonne d'air qui vibre longitudinalement monte avec la force du courant d'air. On peut trouver des rapports pour lesquels ces actions contraires se détruisent, de sorte que le ton reste fixe.

173. **Anche libre** compensée de M. Weber. . . . . **30** fr.

174. **Anche libre**, montée dans un porte-vent vitré, avec deux cornets d'harmonie de différente forme, pour montrer leur influence sur le timbre. . . . . **20** fr.

175. **Anche battante**, montée de même et portant les mêmes cornets. . . . **18** fr.

La direction des vibrations dans toutes les parties d'un système composé de plusieurs corps liés ensemble est, d'après Savart, toujours parallèle à l'axe de l'ébranlement.

176. **Appareil de Savart**, se composant de cinq verges de laiton parallèles entre elles, réunies par un axe vertical monté sur un support. . . . . **45** fr.

177. **Appareil de Savart**, composé d'une lame de bois fixée par une de ses extrémités à une forte règle, l'autre attachée à une corde de violon destinée à lui transmettre les vibrations. . . . . **6** fr.

178. **Système** composé de trois lames parallèles entre elles et d'une verticale de bois, monté comme la lame de l'appareil précédent. . . . . **10** fr.

179. **Appareil de Savart**, composé d'une plaque circulaire en bois, traversée à son centre par une corde fixée à un support qui, vibrant transversalement, communique à la plaque un mouvement de vibration tangentielle. . . . . **6** fr.

180. **Appareil de Savart**, composé d'une plaque circulaire en bois, qui est soutenue par un petit support fixé sur une forte règle et sur laquelle le sable dessine différentes figures si l'on fait varier la tension d'une corde qui passe sur un chevalet posé sur la plaque. . . . . **8** fr.

La loi précédente de Savart n'est pas générale : on arrive facilement, par différents moyens, à faire changer, dans différentes parties d'un système, la direction que les vibrations devaient prendre d'après cette loi, comme le violon en offre un exemple. Dans cet instrument, les cordes étant mises en vibration par l'archet parallèlement aux tables, celles-ci devraient vibrer transversalement, et alors produire peu de son, mais elles vibrent normalement, et ce résultat est obtenu par les découpures du chevalet et l'âme du violon.

181. **Violon à tables planes**, en forme de trapèze. Chaque table est percée devant le chevalet d'un trou pour pouvoir passer l'archet et mettre l'âme à sa place avec les doigts. On peut défaire le manche et le bouton, et les mettre en place pour monter les cordes sur le côté du violon. On peut, en outre, adapter à ce violon un cadre avec deux vis de pression, et changer le chevalet découpé contre un chevalet plein. . . . . **100** fr.

En faisant vibrer comme à l'ordinaire les cordes du violon avec le chevalet plein et sans l'âme, les vibrations des tables sont tangentielles, et l'on obtient alors un son faible. En faisant vibrer les cordes perpendiculairement aux tables, en passant l'archet au travers ou en montant les cordes sur le côté du violon, les tables vibrent normalement et le son devient plus fort.

En mettant maintenant le chevalet découpé et en plaçant l'âme à l'endroit marqué, on obtient déjà le même résultat que précédemment en faisant vibrer les cordes comme à l'ordinaire, c'est-à-dire parallèlement aux tables.

Le même effet est encore produit, lorsque, au lieu de mettre l'âme à sa place dans l'intérieur du violon, on fixe le cadre à l'endroit marqué, et qu'on produit extérieurement, au moyen des deux vis une pression sur les tables aux endroits qui correspondent à la position qu'occupe l'âme dans l'intérieur du violon.

Les corps de même matière, mais de forme composée, vibrent comme un tout si les différentes parties de la figure sont inégales, car ils montrent souvent des divisions que ces parties ne pourraient pas produire isolément. Mais si les différentes parties de la figure sont égales, les vibrations produites dans une des parties sont reproduites d'une manière identique dans les autres parties égales.

182. **Deux plaques carrées**, en laiton, qui tiennent ensemble par un *coin*, et dont l'une est plus grande que l'autre. . . . . **10** fr.

183. **Deux plaques rondes**, en laiton, qui tiennent ensemble par un point de leur circonférence. . . . . **10** fr.

184. **Deux plaques carrées** semblables. . . . . **10** fr.

185. **Deux plaques rondes** semblables. . . . . **10** fr.

Si les dimensions d'un corps simple sont telles que deux modes différents de vibration puissent produire le même son, les vibrations d'une espèce excitent immédiatement celles de l'autre, quel que soit du reste le

mode d'ébranlement employé, et le corps tout entier prend alors un mouvement vibratoire résultant de la coexistence de ces deux modes de vibrations.

186. **Quatre verges en laiton**, accordées pour les expériences de M. Terquem, et deux chevalets en liége fixés sur des plaques en fonte. . . . . **100** fr.

Si le son longitudinal est également éloigné de deux sons harmoniques transversaux que peut rendre la verge, on obtient par ébranlement transversal les lignes nodales de chacun des deux sons transversaux nettement dessinées, mais l'ébranlement longitudinal ne donne aucune ligne bien définie.

Si le son longitudinal se rapproche plus d'un des harmoniques transversaux, on obtient par l'ébranlement transversal les lignes qui conviennent à cet harmonique nettement dessinées, et en ébranlant la verge longitudinalement on voit se dessiner des lignes qui correspondent aux lignes du son transversal, mais qui sont alternatives. Cette disposition montre déjà la coexistence des deux mouvements vibratoires.

Si le son longitudinal est très-voisin d'un son transversal, la disposition des lignes nodales est la même pour les deux modes d'ébranlement, c'est-à-dire que les lignes nodales correspondent aux lignes du son transversal, mais qu'elles sont alternatives.

Si les deux sons se trouvent à l'unisson parfait, l'ébranlement de la verge devient très-difficile.

Si dans un corps deux sons appartenant à deux modes de vibration différents se trouvent à l'intervalle de l'octave, très-souvent l'un de ces sons est aussi provoqué par les vibrations de l'autre.

187. **Trois verges en laiton** accordées pour ces expériences . . . . . **70** fr.

Dans une de ces verges le son longitudinal est à l'octave aiguë du son transversal, qui correspond a n lignes nodales, dans une autre à l'octave aiguë de celui qui correspond à $n + 1$ ligne. La troisième verge a une longueur intermédiaire entre les deux précédentes. Si maintenant on ébranle ces verges longitudinalement, les deux premières font entendre à côté du son longitudinal un son plus grave d'une octave, d'un timbre rauque et comme accompagné de battements, tandis que la troisième verge ne fait jamais entendre ce son rauque.

188. **Deux verges en laiton** pour les mêmes expériences. . . . . **70** fr.

Ces verges sont accordées de façon que le premier harmonique longitudinal se trouve, pour l'une à l'octave aiguë d'un son transversal correspondant à n lignes nodales, et pour l'autre à un son transversal correspondant à $n + 1$ lignes nodales.

Il faut poser ces verges sur les deux chevalets du n° 186 au quart de leur longueur, les frotter longitudinalement pendant qu'on les tient dans leur position en appuyant sur l'endroit où se forme l'un des deux nœuds du son harmonique longitudinal (qui sont placés alors au-dessus des chevalets), puis abandonner les verges à elles-mêmes, quand le son longitudinal est bien sorti. Si on continuait d'appuyer on étoufferait les vibrations du son transversal, car les lignes nodales qui lui correspondent ne coïncident jamais avec les nœuds de l'harmonique longitudinal.

Comme les verges du n° 186 montrent un son transversal et un son longitudinal, ne pouvant exister isolément l'un sans produire l'autre, et comme les lignes nodales sur ces verges résultent de la coexistence de ces deux modes de vibration, les nodales des plaques résultent de la coexistence de deux ou plusieurs sons à l'unisson, qui appartiennent tous au mode devibration transversale, mais qui possèdent des directions différentes, en sorte que chacun de ces sons, s'il pouvait exister sans les autres qui sont à son unisson, diviserait la plaque par desnodales lignes droites et parallèles.

La coexistence de deux sons transversaux se manifeste surtout dans les plaques rectangulaires.

Les plaques carrées offrent l'exemple de la coexistence de quatre sons primaires. Si un son primaire (pouvant exister seul) divisait la plaque par un certain nombre de lignes nodales parallèles entre elles, qui feraient un certain angle avec l'un des côtés du carré, le même son qui correspond à cette subdivision serait aussi donné par la même plaque, si elle était divisée par un système de nodales identiques et faisant le même angle avec le côté opposé.

De même, on devrait encore obtenir le même son par des nodales faisant le même angle avec le troisième et le quatrième côté du carré.

Si les lignes nodales des sons primaires sont parallèles aux côtés de la plaque, le nombre de ces sons coexistants se réduit à deux. (Wheatstone, *Philosop. transact.*, 1833; Kœnig, *Comptes rendus*, 27 mars 1864.)

189. **Six plaques rectangulaires**, dont cinq en laiton et une en bois, et deux plaques carrées en bois. . . . . **80** fr.

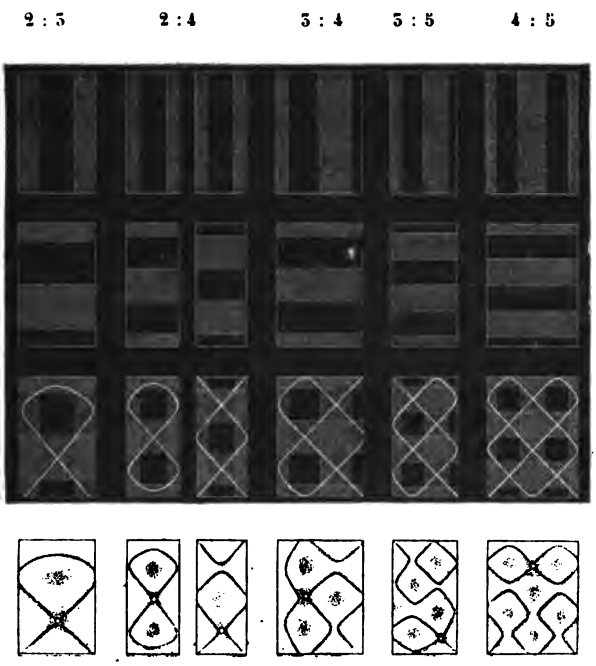

Fig. 7.

Les cinq plaques en laiton sont construites de façon qu'un système de nodales parallèles à leur lon-

gueur soit à l'unisson d'un autre système parallèle à leur longueur. Les rapports entre les nombres de nodales des deux systèmes sont 2 : 3 ; 2 : 4; 3 : 4; 3 : 5 et 4 : 5.

La plaque rectangulaire en bois, taillée dans le sens des fibres, a des dimensions telles que deux lignes nodales parallèles à sa longueur sont à l'unisson du son correspondant à deux lignes nodales parallèles à sa largeur.

Si on fait vibrer ces plaques après les avoir fixées en un point où, d'après la construction théorique, deux lignes nodales devraient se croiser, en ayant soin de poser l'archet sur un endroit du bord où la figure théorique indique un centre de vibration, on obtient immédiatement cette figure.

Dans la figure 7, la première série horizontale renferme les dessins des plaques avec les divisions dans le sens de leur longueur; la deuxième, les mêmes plaques divisées dans le sens de leur largeur. Ces divisions simples ne pouvant guère être obtenues directement, j'ai déterminé la position des nodales, dans chacun des deux sens, sur des plaques auxiliaires, dont la dimension parallèle aux nodales était beaucoup plus petite que dans la plaque donnée, tandis qu'elles avaient la même dimension que celle-ci dans l'autre sens. Les intervalles des nodales, observées sur les plaques auxiliaires, furent ensuite transportés sur les plaques données. Les hachures indiquent les phases positives.

La troisième série horizontale contient les figures résultantes qu'on obtient par la combinaison des deux systèmes orthogonaux en supposant leur existence simultanée. Les nodales devaient évidemment passer par les points où une direction positive de l'un des systèmes coïncide avec une direction négative de l'autre, de manière à produire une interférence.

La quatrième série est formée par les figures observées directement ; je les ai imprimées sur du papier humide et collées sur une planche, qui a servi à les photographier et graver.

Les deux plaques carrées en bois sont taillées, l'une en sorte que les fibres du bois soient parallèles à la diagonale du carré, l'autre en sorte qu'elles soient parallèles à l'une des dimensions. Sur la première, deux lignes nodales parallèles à un côté, faisant le même angle avec les axes d'élasticité que deux lignes parallèles à l'autre côté, les deux sons correspondants sont à l'unisson, et la figure qui en résulte est formée par les deux diagonales.

Sur l'autre plaque, la division parallèlement à un côté n'est point à l'unisson du son qui correspond à la division par deux lignes parallèles à l'autre côté ; aussi n'y obtient-on jamais la figure des deux diagonales.

VII

Phénomènes résultant de la coexistence de deux ou plusieurs sons dans l'air.

Si on produit simultanément deux sons à l'unisson l'un de l'autre, ils s'ajouteront ou se détruiront, selon leur différence de phase.

Si les ondes comprimées de l'un se superposent aux ondes comprimées de l'autre, l'intensité totale sera la somme des deux intensités partielles. Si, au contraire, les ondes comprimées de l'un se superposent aux ondes dilatées de l'autre, elles interfèrent, et l'intensité totale sera la différence des intensités partielles. Elle s'annule quand ces deux intensités sont égales.

190. **Deux diapasons aimantés** ut_3 à l'unisson, montés chacun sur un support, entre les pôles d'un électro-aimant, et diapason interrupteur ut_2. . . **250** fr.

191. **Les deux diapasons** sans l'interrupteur. . . . . **100** fr.

Si on fait passer le courant par les deux électro-aimants dans le même sens, les deux diapasons of-

rent la même phase ; on entendra donc alors le son avec une intensité double, si les deux diapasons sont placés l'un à côté de l'autre.

Il y aura interférence si on fait passer le courant par les deux électro-aimants, de manière que les branches du premier diapason soient attirées au moment où celles de l'autre sont repoussées.

Si maintenant on écarte les deux diapasons et qu'on se place à égale distance de l'un et de l'autre, il y aura partout intensité double, lorsqu'ils présenteront la même phase, et interférence lorsqu'on renversera le courant pour l'un deux.

On peut constater les vibrations à l'aide d'une membrane saupoudrée de sable.

Lorsqu'on déplace cette membrane latéralement de sorte que ses distances aux deux diapasons soient différentes, on observe successivement des maxima et des minima d'intensité.

L'idée de cet appareil, avec lequel on peut beaucoup varier l'expérience, m'a été inspirée par l'appareil suivant :

192. **Appareil** d'interférence de M. P. Desains. . . . . **10** fr.

Au centre de la face inférieure d'une boîte en bois est fixé un fort sifflet qu'on peut faire parler avec un soufflet extérieur. Sur la face supérieure sont percés deux trous symétriquement placés par rapport à ce sifflet, et ce sont ces trous qui deviennent, quand le sifflet parle, deux sources identiques et donnant des vibrations d'accord entre elles.

Pour empêcher les réflexions sonores à l'intérieur de la boîte, toute sa paroi interne est ouatée.

Les expériences sont analogues à celles du numéro précédent.

193. **Tuyau coudé** portant une membrane sur laquelle le sable dessine une figure dans le cas où le tuyau parle. . . . . **8** fr.

Le tuyau a deux ouvertures qu'on peut placer sur deux parties d'une plaque en laiton, qui vibrent dans la même direction, ou sur deux parties qui vibrent en sens contraire. Il ne parle que dans le premier cas.

Les vibrations de deux tuyaux d'orgue à l'unisson placés sur le même sommier s'établissent toujours de manière que l'air se dilate dans l'un pendant qu'il se comprime dans l'autre. Il part donc en même temps de l'un une onde dilatée, et de l'autre une onde comprimée; ces ondes interfèrent, et, bien que les deux tuyaux continuent de résonner avec beaucoup de force, on n'entend qu'un son très-faible.

194. **Appareil** pour rendre visible ce phénomène au moyen de mes flammes de gaz manométriques. (Voir n° 215.)

Entre deux sons qui ne sont pas tout à fait à l'unisson, la différence de phase doit nécessairement changer d'une vibration à l'autre, et, dans l'intervalle de temps où l'un fait n et l'autre $n+1$ vibrations doubles, il doit une fois coïncider une onde comprimée de l'un avec une onde comprimée de l'autre, et une fois une onde comprimée de l'un avec une onde dilatée de l'autre; on devra donc entendre pendant cet intervalle de temps une augmentation et une diminution de l'intensité du son, c'est-à-dire un battement. Le nombre des battements dans un temps donné sera égal à la différence des nombres de vibrations doubles des deux sons dans ce même temps.

195. **Tonomètre** d'après Scheibler. (Voir n° 39 et n° 40.)

Si deux sons battent, qui sont accompagnés de sons harmoniques, ces harmoniques battent aussi, et à chaque battement d'un son fondamental correspondent alors deux battements du son 2, trois du son 3, etc.

Les battements des intervalles plus larges sont produits par les harmoniques (*obertoene*) ou par les *sons résultants* (*combinations-toene*).

S'ils sont produits par les harmoniques, cela peut arriver de deux manières : soit qu'un harmonique d'un des sons fondamentaux se rapproche beaucoup de l'autre son fondamental, soit qu'un harmonique de l'un se trouve presque à l'unisson d'un harmonique de l'autre. Le nombre des battements est encore ici égal à la différence des nombres de vibrations doubles des deux sons par lesquels ils sont produits, et comme les battements de l'harmonique le plus grave qui soit commun aux deux sons fondamentaux sont presque toujours les plus forts, le plus petit des deux nombres qui expriment l'intervalle donne le nombre des battements qu'on entend si le son le plus aigu est altéré d'une vibration, et le plus grand des deux nombres donne les battements produits si le son le plus grave est altéré d'une vibration.

196. **Cinq tuyaux** d'orgue ouverts, dont deux accordés pour ut_2 et les trois autres pour mi_2, sol_2 et ut_3. Tous les cinq sont arrangés de sorte qu'on puisse varier leur tonalité d'un demi-ton. . . . . **80** fr.

197. **Petite série de résonnateurs** de Helmholtz. (Voyez n° 55.)

Pour observer les battements des différents harmoniques à côté des battements des sons fondamentaux, on fait parler les deux tuyaux ut_2 avec des battements bien lents, puis on observe successivement avec tous les résonnateurs de la série.

Les battements de l'octave $ut_2 - ut_3$ sont produits par le son 2 (premier harmonique) de l'ut_2 et le son fondamental ut_3. On les observe donc avec le résonnateur ut_3.

Les battements de la quinte $ut_2 - sol_2$ étant produits par le son 4 de ut_2 et le son 2 de sol_2, on se sert du résonnateur sol_3.

De même on doit employer le résonnateur mi_4 pour les tuyaux ut_2 et mi_2, mi_3 pour mi_2 et ut_3; sol_4 pour sol_2 et ut_3.

Pour les tuyaux mi_2 et sol_2, il faudrait un résonnateur si_4, qui n'est pas compris dans la petite série.

Note. — Je dois faire observer que toujours, lorsqu'il s'agit de répéter ces expériences devant un auditoire, où il n'est pas possible de les faire entendre à chaque assistant, on doit faire agir les résonnateurs sur un de mes petits appareils à flammes de gaz (voir n° 215).

De cette manière, les battements deviennent très-visibles par les élancements de la flamme.

198. **Les deux tuyaux** du numéro précédent sonnant ut_2, seuls. . . . . **40** fr.

Les battements produits par les *sons résultants* coïncident, pour les sons accompagnés d'harmoniques, avec ceux qui sont produits par ces harmoniques; il est bon de remarquer que ce sont ici les sons résultants de premier ordre qui concourent à la production des battements.

Les battements des intervalles de deux sons simples sont produits par les sons résultants d'un ordre plus élévé, aussi sont-ils plus faibles.

(Voyez le tonomètre de Scheibler, n° 39.)

Le nombre croissant des battements ne finit point par former un *son résultant;* mais quand les vibrations de l'air ou d'un autre corps élastique, ébranlé simultanément par deux sons primaires, deviennent si fortes qu'elles ne peuvent plus être regardées comme infiniment petites, la théorie montre qu'il doit se produire dans l'air des vibrations dont la période correspond à celle des *sons résultants.*

Il existe deux classes de *sons résultants :* les sons différenciels, dont le nombre de vibrations correspond à la différence des nombres de vibrations des sons primaires, et les sons d'addition, ou sons *additionnels*, découverts par M. Helmholtz, dont les nombres de vibrations sont la somme des nombres de vibrations des sons primaires.

Pour la démonstration de tous les phénomènes décrits dans ce chapitre

199. **Sirène double** de M Helmholtz. (fig. 8.). . . . . **400** fr.

Elle est composée de deux sirènes à plusieurs sons simultanés. Les deux disques sont fixés sur le même axe. Chacun porte quatre séries de trous qu'on peut faire parler à volonté ensemble ou séparément. On peut faire tourner l'un des deux réservoirs à air, ou porte-vent, autour de son axe, de sorte qu'en le faisant mouvoir en même sens que le disque ou en sens contraire, on peut diminuer ou bien augmenter à volonté, de quelques unités, les nombres de vibrations des sons produits par le disque.

On fait entrer le vent dans les deux réservoirs à la fois ou dans un seul, par une colonne creuse, montée sur la même planchette que la sirène.

Avec cette sirène, on peut produire les intervalles suivants (rigoureusement justes, ou altérés à volonté et avec une différence de phase quelconque): l'unisson, l'octave, la quinte, la quarte, la tierce majeure, la tierce mineure, la seconde ou le ton entier, le demi-ton.

Si on produit deux sons avec le même disque, les sons résultants sont très-forts. Si on fait usage de deux disques pour produire les deux sons primaires, les sons résultants sont faibles.

La gravure montre les moitiés de deux boites, qu'on peut fixer au-dessus des disques et qui servent à renforcer le son.

Le pas de vis, qu'on voit au milieu de l'arbre qui porte les deux disques, sert à mettre en mouvement le compteur, qui n'est pas indiqué sur la figure.

200. **Deux tuyaux** ouverts donnant la quarte, pour les sons résultants. . . . **8** fr.

201. **Un tuyau** donnant le son résultant des tuyaux précédents. . . . . **6** fr.

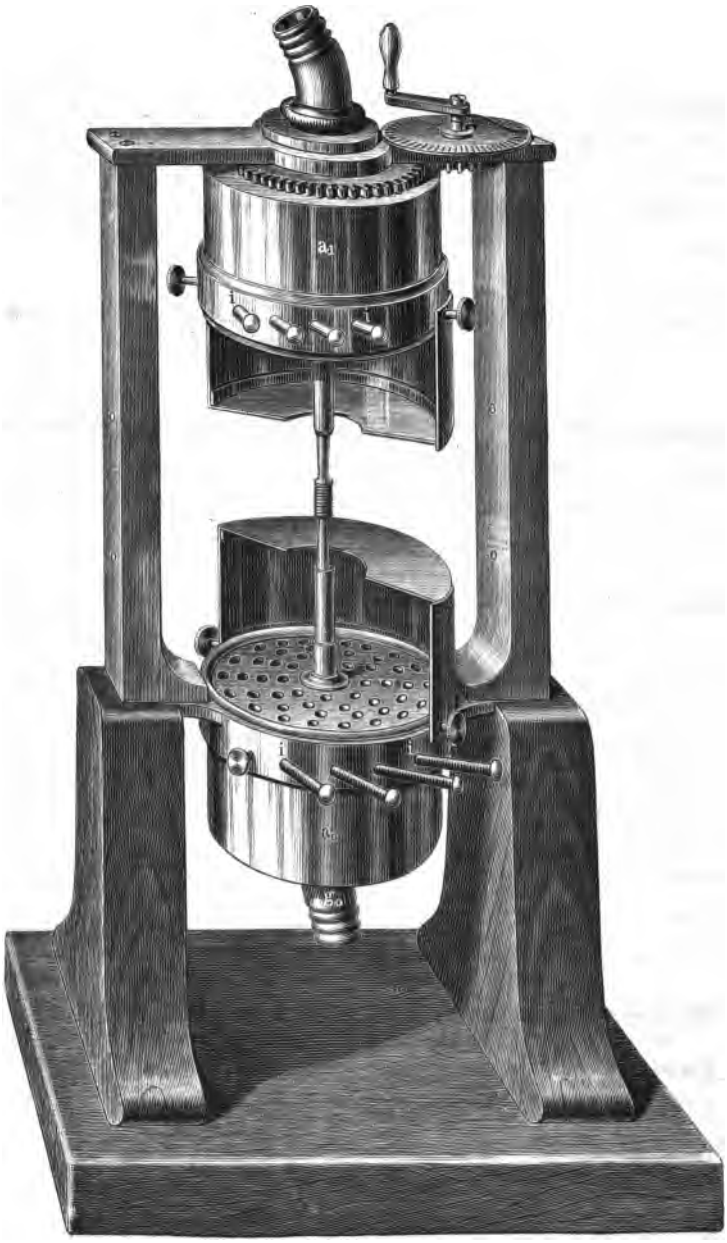

Fig. 8

VIII

Méthodes d'observation des vibrations sonores sans le secours de l'oreille. Méthode graphique; méthode optique; méthode des flammes manométriques; emploi des vibrations trop lentes pour être entendues, mais visibles par la grandeur de leurs excursions.

202. **Le phonautographe.** . . . . . **500** fr.

Cet appareil réunit les différents moyens qu'on a employés jusqu'aujourd'hui avec succès pour l'enregistrement des vibrations sonores. Il se compose d'un cylindre à mouvement hélicoïdal, tel qu'il était

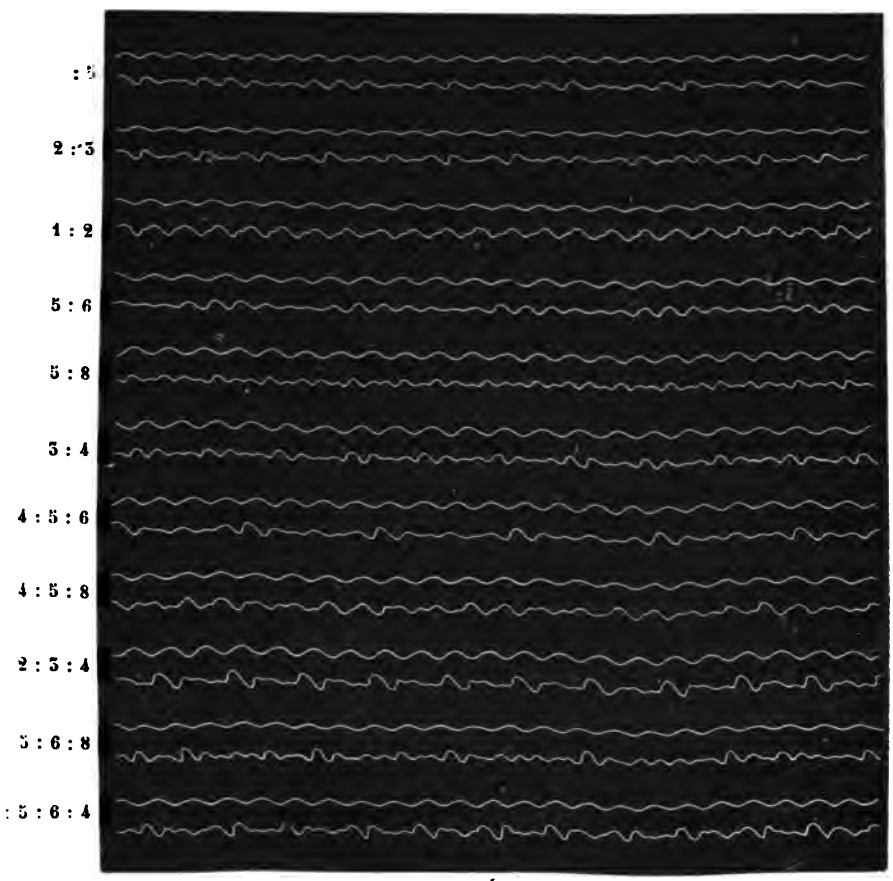

Fig. 9.

déjà employé par Savart, et après lui par M. Duhamel ; d'un petit mouvement d'horlogerie à échappement qui permet de déterminer le nombre de vibrations d'une note par la méthode graphique : d'un diapason chronoscope de M. Wertheim avec son support ; et enfin de l'appareil à membrane de M. Scott qui permet de tracer les mouvements de l'air.

Avec cet appareil on obtient facilement les tracés des mouvements vibratoires les plus complexes des corps solides ou gazeux. L'appareil peut aussi servir généralement pour les expériences chronoscopiques, et notamment pour la mesure des nombres de vibrations des sons.

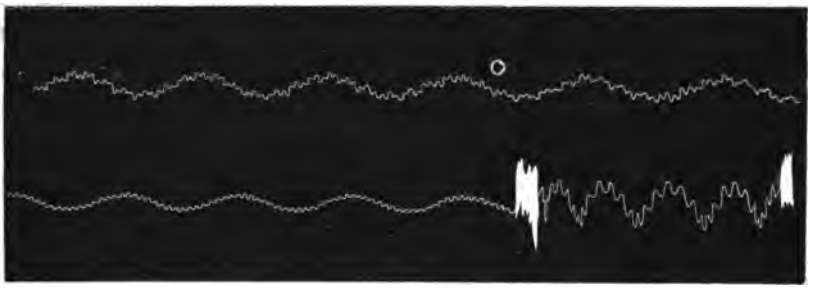

Fig. 10.

Le petit chronomètre à échappement mentionné ci-dessus servira plutôt aux expériences de cours ; pour des mesures plus précises, il vaudra toujours mieux se servir d'un diapason chronoscope. D'ailleurs, l'emploi des mouvements d'horlogerie, en général, donne lieu à cette objection, que le frottement de l'aiguille sur le cylindre peut altérer la marche de ces mouvements. C'est pour cette raison que, pour régler le diapason chronoscope, il faut employer une aiguille électrique combinée avec un pendule interrupteur. (Voir n° 203.)

Le diapason chronoscope est d'un usage extrêmement commode. Toutefois on pourrait désirer de pouvoir en vérifier facilement le nombre des vibrations. Pour cela j'ai imaginé un moyen fort simple. On prend un autre diapason de même hauteur et l'accorde de manière à ce qu'il donne 4 battements par seconde avec le premier, ce qui peut s'obtenir très-facilement et avec beaucoup de précision. Ensuite on fait écrire les deux diapasons à côté l'un de l'autre, et on compte les vibrations correspondantes. Si n vibrations doubles de l'un tombent sur $n+1$ vibrations de l'autre, le premier a fait $4n$, l'autre $4n+4$ vibrations doubles par seconde.

On donne avec le phonautographe une instruction détaillée sur la manière de s'en servir et des photographies qui représentent sa disposition pour les diverses expériences.

La figure 9 montre les tracés des différents intervalles et accords qui existent entre les notes *ut*, *mi*. *sol*, *ut*. Ils ont été obtenus avec le style planté sur la membrane qui vibrait sous l'influence des tuyaux respectifs ut_5, mi_5, sol_5, ut_4. Les lignes intermédiaires, qui sont des sinusoïdes régulières, proviennent des vibrations du diapason chronoscope ($ut_5 = 512$ vib.) tracées simultanément par un style planté directement sur une de ses branches.

La figure 10 montre les tracés obtenus par un diapason qui faisait entendre à côté du son fondamental un et deux harmoniques.

203. **Pendule** interrupteur et aiguille électrique, de. . . . . **100** à **2000** fr.

204. **Appareil** comprenant le cylindre monté sur le plateau, le mouvement d'horlogerie, le diapason chronoscopique et deux supports sans l'appareil à membrane. . . . . **250** fr.

205. **Le cylindre seul**, monté seulement sur ses supports en fonte de fer, sans accessoires. . . . . **150** fr.

206. **Appareil** pour la combinaison parallèle et rectangulaire de deux mouvements vibratoires existant dans deux corps différents, par la méthode optique et graphique, d'après M. Lissajous et d'après MM. Lissajous et P. Desains. . **600** fr.

(*Annales de chimie et de phys.*, 3e série, tome LI.)

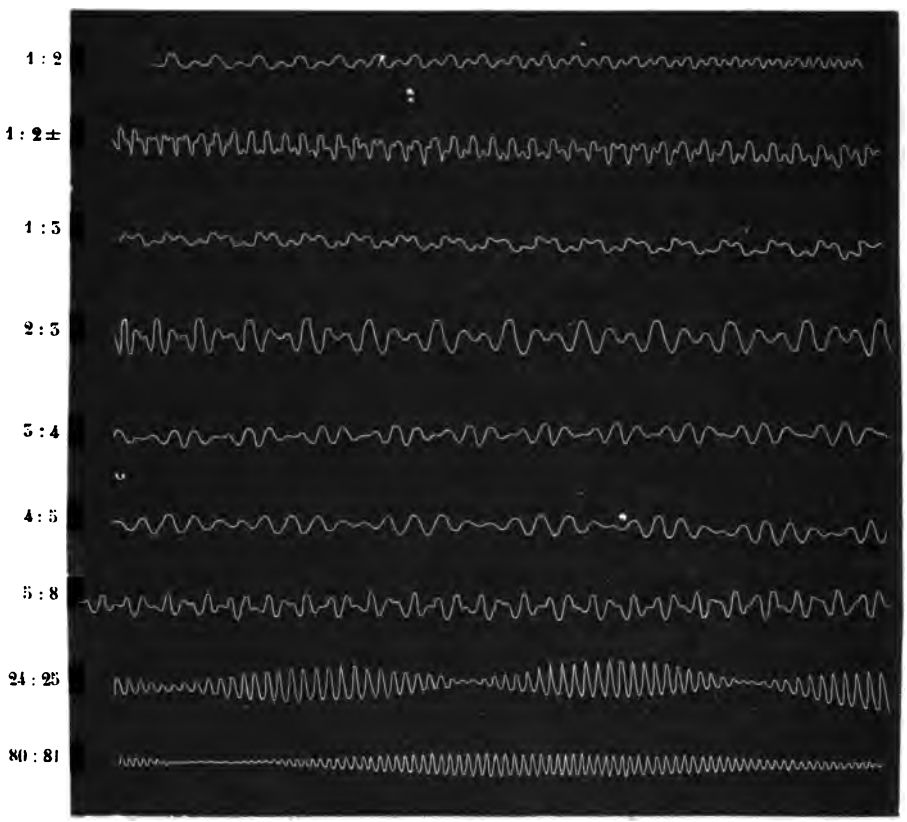

Fig. 11. — Épreuves de la combinaison parallèle de deux mouvements vibratoires.

Il se compose de huit forts diapasons, armés de miroirs en acier et d'une série de supports. Cinq de ces diapasons portent des curseurs, dont la position est marquée sur les branches de ces diapasons

pour un grand nombre d'intervalles importants, surtout pour la combinaison graphique parallèle de deux mouvements vibratoires. Le contre-poids du miroir du plus grand des diapasons est arrangé spécialement pour y fixer la plaque de verre qui sert aux expériences graphiques.

On donne encore avec cet appareil une instruction détaillée, et des photographies qui montrent sa disposition pour les différentes expériences.

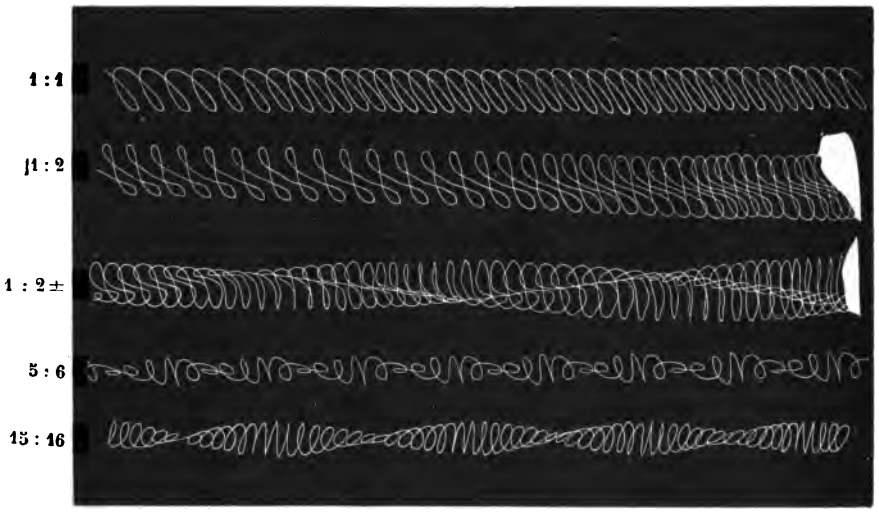

Fig. 12. — Épreuves de la combinaison rectangulaire de deux mouvements vibratoires.

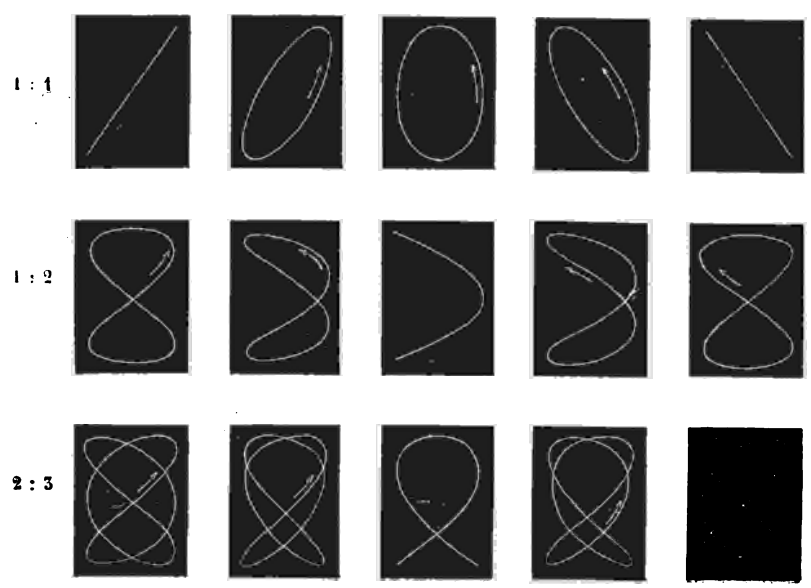

Fig. 13.

Courbes optiques obtenues par la combinaison rectangulaire de deux mouvements vibratoires.

Les différences de phase sont dans la première et dans la deuxième série horizontale : 0 $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{3}{8}$, $\frac{1}{2}$; dans la troisième : 0, $\frac{1}{16}$, $\frac{1}{8}$, $\frac{3}{16}$, $\frac{1}{4}$; dans la deuxième : 0, $\frac{1}{24}$, $\frac{1}{12}$, $\frac{3}{24}$, $\frac{1}{6}$.

207. **Le même appareil** avec diapasons plus faibles, et miroirs métalliques de qualité inférieure. . . . . **400** fr.

208. **Appareil** pour la combinaison parallèle et rectangulaire de deux mouvements vibratoires par la méthode graphique seule. . . . . **120** fr.

Il se compose des supports du numéro 206, destinés aux expériences ci-dessus, d'un grand diapason arrangé pour porter la plaque de verre et d'un diapason avec contre-poids mobiles, pouvant donner, avec le premier, les intervalles depuis 1 : 1 jusqu'à 8 : 9.

209. **Grande collection d'épreuves** de la fixation graphique des vibrations sonores, avec figures théoriques et photographies représentant les appareils qui ont servi pour les expériences. . . . . **400** fr.

Cette collection est divisée en 7 parties :

1° Épreuves de la détermination du nombre de vibrations, le diapason servant de chronoscope.

2° Épreuves de la combinaison parallèle de deux mouvements vibratoires qui existent dans deux corps.

3° Épreuves de la combinaison parallèle de deux ou plusieurs mouvements vibratoires qui existent dans le même corps.

4° Épreuves de la combinaison rectangulaire de deux mouvements vibratoires qui existent dans deux corps.

5° Épreuves de la combinaison de deux mouvements vibratoires rectangulaires qui existent dans le même corps.

6° Épreuves de la communication des vibrations ; vibrations de l'air tracées par l'intermédiaire d'un style planté sur une membrane.

7° Épreuves des mouvements physiologiques de la membrane du tympan et des osselets dans l'oreille humaine.

210. **Appareil** pour la combinaison de deux mouvements vibratoires par la méthode optique de M. Lissajous seule. . . . . **320** fr.

Il se compose de six forts diapasons armés de miroirs d'acier, des supports nécessaires et d'une lampe à cheminée opaque percée d'un petit trou.

211. **Le même appareil** avec diapasons plus faibles et miroirs métalliques inférieurs. . . . . **200** fr.

212. **Le même appareil**, avec quatre diapasons seulement. . . . . **150** fr.

De même que la méthode optique permet l'observation et la comparaison des vibrations des corps solides, on arrive à rendre visible l'état

vibratoire des masses et colonnes d'air par la méthode des flammes manométriques. Le petit appareil qui sert à ce but consiste dans une petite capsule fermée d'un côté par une membrane très-mince en caoutchouc et dont le fond est percé de deux trous. Un de ces trous sert à introduire dans la capsule du gaz d'éclairage, qui s'échappe par un petit bec fixé dans l'autre ouverture, sur lequel on l'allume. Il est clair que cette flamme sera brusquement allongée quand la membrane sera poussée dans l'intérieur de la capsule, et qu'elle s'abaissera quand la membrane exécutera un mouvement contraire. (Kœnig, *Annales de Poggendorff*, CXXII.)

213. **Tuyau** ouvert à flammes manométriques, destiné à rendre visibles les compressions et dilatations de l'air aux nœuds de vibration. . . . . **30** fr.

Dans la paroi latérale du tuyau sont percées trois ouvertures aux endroits qui correspondent au nœud du son fondamental et aux deux nœuds de son octave; sur ces ouvertures sont appliquées trois capsules disposées comme on vient de le lire, de sorte que les trois membranes ferment exactement les trous. Si maintenant on fait parler le tuyau et qu'il donne le son fondamental, les trois flammes entrent en vibration, mais celle du milieu beaucoup plus vivement que les deux autres, parce qu'elle se trouve sur le nœud de vibration, tandis que les deux autres sont placées entre le nœud et les ventres de vibration. Si, au contraire, on produit l'octave supérieure en soufflant plus fort, les deux flammes latérales prennent un mouvement très-vif, tandis que la flamme du milieu reste tranquille, à cause de

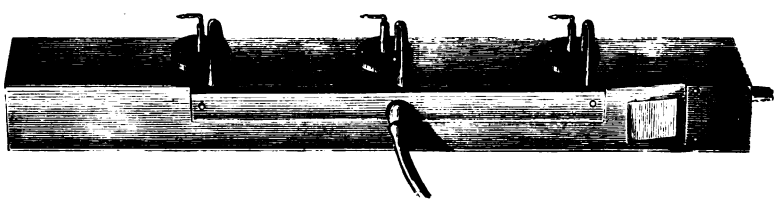

Fig. 14.

sa position sur un ventre de vibration où l'air ne fait que se déplacer longitudinalement, sans changer de densité. Si l'expérience est faite avec des flammes très-petites, les flammes dont l'agitation est la plus violente, c'est-à-dire celle du milieu pour le son fondamental, et les deux autres pour l'octave s'éteignent tout à fait.

214. **Tuyau** fermé à l'un de ses bouts, analogue au précédent.

Les trois indicateurs à flammes sont placés au bout du tuyau et sur le ventre et le deuxième nœud du son 3, qui est ici le premier harmonique sensible.

L'image que ces flammes donnent de l'état variable de la colonne d'air vibrante est si fidèle, qu'on peut les utiliser pour représenter d'une manière visible la différence de phase de deux colonnes d'air résonnantes, ou le rapport de leurs nombres de vibrations.

215. **Appareil** pour la comparaison des vibrations de deux colonnes d'air sonores par la méthode des flammes manométriques. . . . . **150** fr.

Il se compose d'un petit sommier monté sur une tablette à côté d'un miroir tournant, et de cinq tuyaux d'orgue, munis chacun de la capsule manométrique à l'endroit où se forme le nœud du son

fondamental. Deux de ces tuyaux sont accordés pour ut_3 et arrangés de façon qu'on peut varier leur tonalité entre les limites d'un demi-ton, les autres donnent les notes mi_3, sol_3 et ut_4.

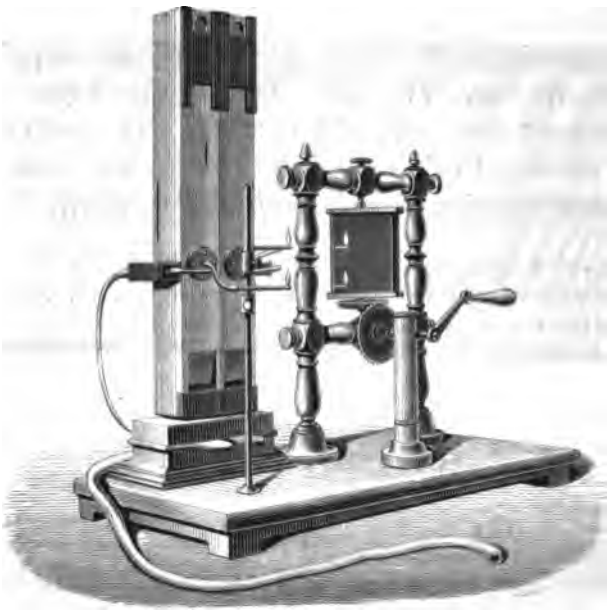

Fig. 15.

On place les deux tuyaux *ut* sur le sommier et on met leurs capsules manométriques, au moyen de petits tubes de caoutchouc, en communication avec deux becs à gaz, montés sur un support devant le sommier et le miroir tournant, où on peut les déplacer à volonté et les placer l'un au-dessous de l'autre. Si maintenant on accorde les deux tuyaux de manière à obtenir l'unisson parfait, leurs mouvements vibratoires s'établissent de manière que l'air se dilate dans l'un pendant qu'il se comprime dans l'autre, ce qui donne lieu à une interférence des ondes sonores. Si alors on fait tourner le miroir après avoir placé les deux flammes l'une sous l'autre, il donne une représentation fidèle du phénomène, car

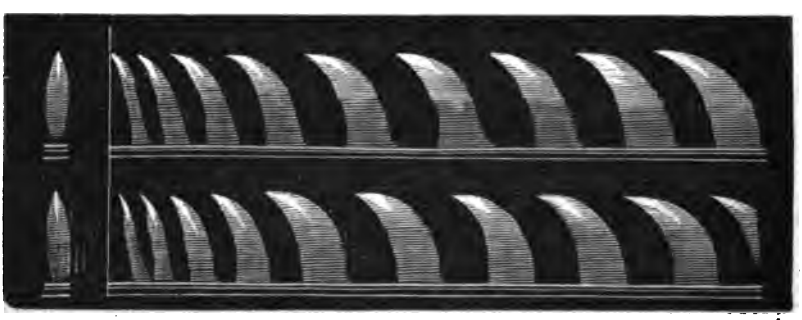

Fig. 16.

les images des flammes, dans les deux séries parallèles que donne le miroir, et dans lesquelles chaque image détachée représente une compression de l'air dans le tuyau, ne sont plus sur les mêmes verticales, et on les voit alterner. (Fig. 16.)

Si on accorde les tuyaux de manière qu'ils donnent des battements, les images des deux séries seront tantôt superposées, tantôt alternantes.

on met sur le sommier les deux tuyaux ut_3 et ut_4, on peut voir dans le miroir deux images d'une série correspondre toujours à une seule image dans l'autre série; et, pour les tuyaux ut_3 et sol_3 deux images de l'une correspondre à trois images de l'autre.

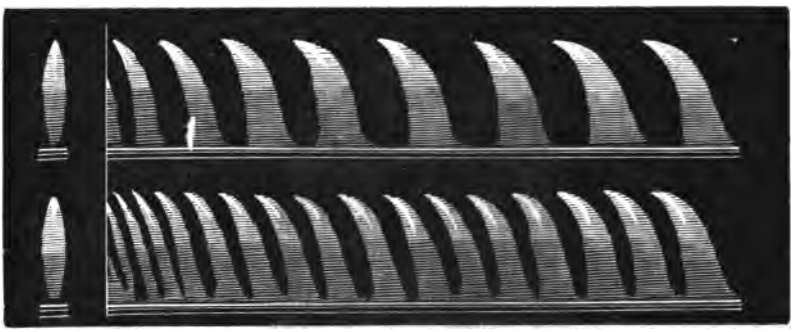

Fig. 17.

On peut aussi conduire le gaz des deux capsules dans le même bec, et on obtient alors pour le rapport des tuyaux de 1 : 2 une succession de grandes flammes suivies chacune d'une plus petite.

Fig. 18.

Cette disposition est même préférable chaque fois que le rapport entre les deux tuyaux n'est pas tout à fait simple. Par exemple, pour les tuyaux *ut* et *mi*, l'observation de quatre images correspon-

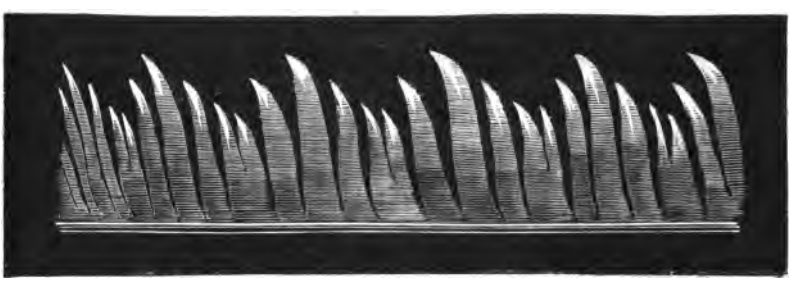

Fig. 19.

dant à cinq devient déjà difficile ; mais la succession d'images, qui par groupes de cinq s'allongent et se raccourcissent, et qu'on obtient dans le miroir tournant, par cette disposition, n'est pas d'une apparence très-compliquée. (Fig. 19)

216. **Appareil** destiné à décomposer, d'une manière visible, le timbre d'un son dans ses notes élémentaires, au moyen des flammes manométriques. . . . . **250** fr.

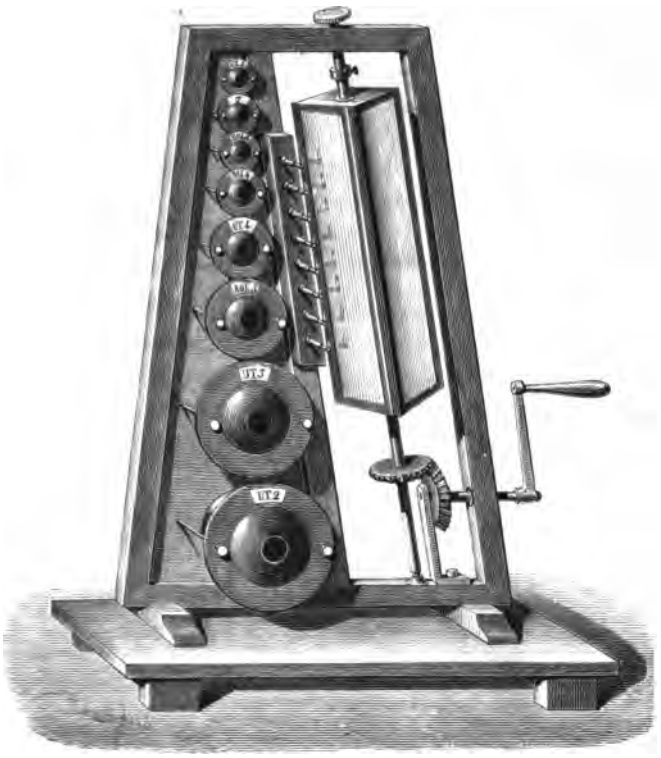

Fig. 20.

Les dix résonnateurs de la petite série n° 53 sont fixés sur un support, l'un au-dessus de l'autre, Chacun communique par un tube de caoutchouc avec une petite cavité que forme une capsule manométrique. Les becs de gaz de ces capsules sont placés l'un au-dessus de l'autre, sur une ligne inclinée, et un miroir tournant parallèle à cette ligne décompose celles des flammes qui sont mises en vibration par les globes qui résonnent, tandis qu'il fait paraître sous forme linéaire celles qui sont en communication avec des résonnateurs sur lesquels le son n'agit pas.

217. **Petit miroir tournant** devant lequel est fixé sur un support une capsule manométrique, appliquée sur une petite capsule vide, qui communique avec l'air extérieur par un tube de caoutchouc. . . . . **30** fr.

On fixe, au bout de ce tube, un résonnateur qui doit être accordé pour la note que l'on veut faire agir sur la flamme.

Comme la méthode des flammes permet de rendre palpables les com-

pressions de l'air qui vibre, la lumière polarisée fournit un moyen d'observer les compressions dans des corps solides transparents.

218. **Vibroscope** à polarisation, d'après **M. A. Kundt.**

Une lame de verre horizontale est fixée entre les deux glaces d'un appareil à polarisation ; la lumière traverse les faces latérales de la lame vibrante. Quand l'analyseur est tourné de manière qu'il y ait obscurité à l'état de repos, il suffit d'exciter dans la lame des vibrations longitudinales pour qu'elle paraisse lumineuse dans l'analyseur ; le plus grand éclat a lieu aux endroits des nœuds ; les autres restent obscurs. Quand la lame vibre transversalement, ce sont les nœuds qui restent obscurs, et il y a, en outre, une raie obscure longitudinale. Un miroir tournant permet de voir que la lumière est intermittente.

(**Biot**, *Annales de Chimie et de Physique*, XIII, 1820. — M. Kundt, *Annales de Poggendorff.* CXXIII, 1864. n° 12.)

219. **Douze verges** (caléidophones) de M. Wheatstone, dont les vibrations produisent les figures de la combinaison rectangulaire de deux mouvements vibratoires pour les différents intervalles. . . . . **100** fr.

Les verges sont montées sur un support et se terminent par de petites boules brillantes.

220. **Les mêmes verges**, montées dans des cubes de cuivre, pour être fixées dans un étau, et portant de petits miroirs au lieu des pinces pour la projection des figures . . . . . **170** fr.

221. **Six verges** montées comme celles du n° 219. . . . . **60** fr.

222. **Six verges** montées comme celles du n° 220. . . . . **60** fr.

223. **Appareil** pour l'étude des mouvements vibratoires simples et composés dans les cordes, d'après M. Melde.. . . . . **150** fr.

(*Annales de Poggendorff*, CIX et CXI.)

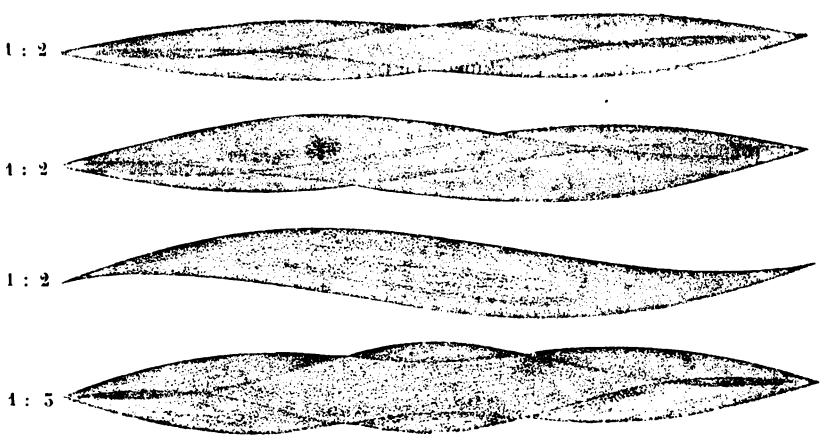

Fig. 21.

Il se compose de cinq diapasons montés pour ces expériences, dont les deux plus graves à l'unisson portent des curseurs, et d'un support avec deux montants.

La corde est tendue entre les deux diapasons, que l'on fixe dans les deux montants du support. Dès lors, si on fait vibrer les diapasons, on observe dans la corde la coexistence des vibrations d'un son fondamental et de celles d'un harmonique, ou la coexistence de deux harmoniques. On montre aussi les battements, soit sur le son fondamental, soit sur un des harmoniques, et en faisant varier la tension de la corde et la position des diapasons, on peut, en général, produire une multitude de formes vibratoires. On conçoit que cet appareil peut aussi servir à la répétition des expériences plus simples décrites sous le numéro suivant.

La figure 21 montre les phénomènes de la coïncidence des vibrations du son fondamental et de celles de l'octave avec différences de phases de zéro, de $\frac{1}{4}$ et $\frac{1}{2}$, et la figure résultante des vibrations du son fondamental et de la quinte de l'octave.

224. **Petit appareil** pour l'étude des mouvements vibratoires d'une corde, de M. Melde. . . . . **40** fr.

Il se compose d'un diapason monté sur un support qu'on peut visser contre une table, et qui porte une planchette d'un mètre de longueur, mobile autour d'un axe, sur laquelle glisse une pince. Le fil est tendu entre cette pince et l'armature que porte une des branches du diapason, et en faisant vibrer celui-ci, la corde est mise en mouvement. — Elle donne successivement les subdivisions des harmoniques, si la moitié, le tiers, etc., de sa longueur est à l'unisson avec les vibrations du diapason, en supposant que celui-ci la fasse vibrer transversalement. Si le diapason la fait vibrer longitudinalement, il faut que la corde soit accordée pour une octave plus basse, pour donner les mêmes subdivisions. Une position intermédiaire du diapason produit dans la corde la coexistence de deux mouvements vibratoires dans le rapport de 1 à 2.

Si les rapports entre les vibrations du diapason et de la corde sont justes, la corde vibre dans un plan; dans le cas contraire, elle exécute des mouvements elliptiques.

225. **Monocorde** à table noire, de Savart, pour rendre visible le mouvement d'une corde vibrante et ses subdivisions. . . . . **18** fr.

226. **Bassin** étroit et profond, à parois en verre, pour les expériences des frères Weber sur les ondes liquides. . . . . **100** fr.

227. **Bassin** assez large et plat, pour la réflexion de l'onde plane. . . . . **30** fr.

L'onde est engendrée par une règle à l'une de ses extrémités. La paroi droite qui réfléchit l'onde peut être remplacée par deux autres, dont l'une forme une courbe parabolique, l'autre un demi-cercle.

228. **Vase elliptique**, pour montrer la réflexion des ondes. . . . . **5** fr.

229. **Bassin**, avec un petit assortiment de corps de différentes formes, qu'on peut fixer au-dessus, à une règle, pour produire des ondes et pour démontrer qu'indépendamment de sa forme primitive, l'onde devient circulaire en se propageant. . . . . **15** fr.

IX

Appareils pour la reproduction mécanique des différents mouvements vibratoires et ondulatoires, servant à l'explication des résultats obtenus par les appareils du chapitre précédent.

CINQ APPAREILS D'APRÈS M. WHEATSTONE ET M. EISENLOHR

230. **Appareil** qui représente le mouvement moléculaire d'une onde aérienne produite par un choc simple. . . . . **30** fr.

231. **Appareil** qui représente le mouvement moléculaire des ondes aériennes produit par un son continu. . . . . **90** fr.

232. **Appareil** qui représente le mouvement moléculaire des ondes fixes dans les tuyaux. . . . . **40** fr.

Dans ces trois appareils, les molécules sont figurées par des lignes blanches sur un fond noir, qu'on voit osciller dans une fente de la longueur d'un mètre sur un centimètre de largeur. Deux règles mobiles sur la fente de l'appareil du n° 232 permettent de figurer les différents genres de tuyaux donnant soit leurs sons fondamentaux, soit leurs premiers harmoniques.

233. **Appareil** qui représente le mouvement moléculaire des ondes liquides. . **80** fr.

234. **Appareil** qui représente le mouvement moléculaire des ondes de l'éther. **60** fr.

235. **Appareil** à ondes, d'après M. Schulze. . . . . **500** fr.

Il permet de montrer en mouvement simultané deux séries d'ondes et la troisième qui résulte des deux premières; en sorte qu'on peut obtenir ainsi :

La formation et la propagation d'une onde simple ;

L'interférence de deux ondes égales ou inégales avec différence de phase quelconque ;

L'interférence d'une onde composée avec une onde simple, ou avec une autre onde composée ;

L'interférence des ondes directes avec les ondes réfléchies, produisant les ondes fixes avec ventres et nœuds de vibration ;

L'interférence d'une onde composée avec une onde composée réfléchie, donnant naissance à des ondes fixes composées, etc., etc.

236. **Appareil** à ondes, de M. Wheatstone. . . . . **250** fr.

Il montre les courbes théoriques résultant de deux systèmes d'ondes simples dans le même plan, de deux systèmes d'ondes perpendiculaires l'un à l'autre, d'un système d'ondes planes avec un autre circulaire ou elliptique, et enfin de deux systèmes d'ondes circulaires ou elliptiques;

237. **Appareil** qui montre seulement les courbes théoriques résultant de deux systèmes d'ondes planes dans le même plan (figures résultant de deux sons combinés). . . . . **80** fr.

238. **Appareil** qui montre seulement les courbes théoriques résultant de deux systèmes d'ondes égaux et perpendiculaires l'un à l'autre. (Polarisation circulaire et elliptique). . . . . **40** fr.

Pour les appareils des n°s 233 à 238, les molécules sont représentées par des perles blanches sur un fond noir.

239. **Appareil** de M. Wheatstone, pour la combinaison de deux mouvements vibratoires rectangulaires. . . . . **100** fr.

Les deux mouvements sont produits par deux excentriques, qui agissent simultanément sur une extrémité d'une petite verge dont l'autre extrémité porte une petite perle, ou un petit miroir, comme pour les verges des n^os^ 219 et 220.

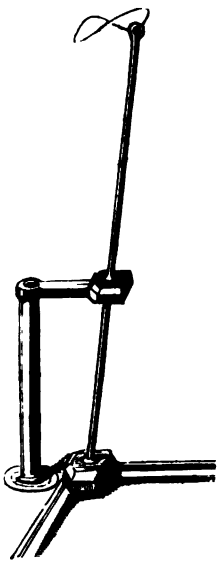

Fig. 22.

Cette verge est mobile autour de son centre, de manière que son extrémité libre, qui porte la perle, reproduit exactement les courbes que les deux excentriques font décrire à son extrémité encastrée.

240. **Appareil** de M. Eisenlohr pour démontrer la formation des figures de la combinaison rectangulaire de deux mouvements vibratoires par une illusion d'optique . . . . . **60** fr.

Il se compose essentiellement d'une baguette suspendue horizontalement à deux cordes de manière qu'elle puisse osciller en restant parallèle à elle-même, et d'une boule qui oscille dans un plan parallèle à cette baguette, au-dessus de la position de repos de celle-ci. On peut varier les vitesses d'oscillations de la baguette et de la boule en raccourcissant ou en allongeant les cordes de suspension.

La boule en mouvement se trouve au-dessus de la baguette, toutes les fois que celle-ci passe par sa position de repos, et la persistance de l'impression produite par les rencontres successives est cause que la boule nous semble décrire une courbe.

241. **Appareil** pour la combinaison de deux mouvements elliptiques, ou d'un mouvement elliptique avec un mouvement rectiligne. . . . . **300** fr.

Il se compose de deux appareils analogues au n° 239, fixés sur deux montants en face l'un de l'autre. Chacun des deux produit séparément une ellipse, et on peut imprimer à ces ellipses des vitesses qui ont un rapport déterminé, à l'aide d'une poulie à plusieurs gorges, fixée entre les deux appareils.

On fait tomber un rayon lumineux sur le premier miroir, qui le renvoie au second, dans lequel on observe alors la figure composée. Rien n'empêche d'ailleurs de la projeter sur un écran.

X

Quelques appareils d'acoustique d'un usage pratique.

242. **Nouveau stéthoscope** (système Kœnig). A un tube. . . . . **10** fr.
— — — A cinq tubes. . . . . **20** fr.

Il se compose d'une petite capsule hémisphérique dans laquelle s'enfonce un anneau recouvert de deux membranes en caoutchouc. Une ouverture percée dans l'anneau permet de gonfler, par insufflation, ces deux membranes, de manière à leur donner la forme d'une lentille. La petite capsule est surmontée à son sommet d'un petit tube destiné à recevoir un tuyau en caoutchouc, qui doit mettre en communication directe avec l'oreille la masse d'air intérieure.

La membrane extérieure ainsi gonflée s'applique sur le corps sonore qu'il s'agit d'examiner. Elle se modèle sur la forme de ce corps, en reçoit les vibrations et les communique à la membrane opposée par l'intermédiaire de l'air emprisonné; la deuxième membrane les communique ensuite au tympan par la masse d'air comprise dans la capsule et le tuyau.

On peut fixer cinq tubes à la capsule sans nuire à la netteté avec laquelle les bruits arrivent à l'oreille et alors cinq personnes à la fois peuvent étudier les sons dont il s'agit.

Je crois que ce petit appareil sera aussi dans la plupart des cas préférable aux cornets acoustiques, car tous les sons que l'on produit devant la membrane parviennent à l'oreille avec une force étonnante et il me semble même que la clarté de la prononciation est très-peu altérée par l'emploi de l'appareil.

Les résultats qu'on obtient avec cet instrument sont encore plus surprenants, quand on applique la lentille gonflée directement contre la table d'harmonie d'un piano dont on veut entendre les sons. En ce cas, il se présente seulement cette circonstance fâcheuse, que les sons des cordes qui se trouvent juste au-dessus de l'endroit de la table d'harmonie où on applique l'instrument, sont perçus avec une intensité beaucoup plus grande que les autres; mais l'on peut éviter cet inconvénient en disposant en différents points de la table d'harmonie trois ou quatre instruments montés sur un même support creux, et c'est de l'intérieur de ce support que le tube de caoutchouc doit aller à l'oreille. La longueur de ce tube est d'ailleurs indifférente, car, en substituant des tubes de 4 mètres au petit tube de 70 centimètres, je n'ai pu reconnaître le moindre affaiblissement dans les sons transmis.

(*Annales de Poggendorff*, CXXII.)

243. **Cornet** acoustique ordinaire en fer-blanc. . . . . **7** fr.

On a modifié la forme du cornet acoustique de bien des manières, et l'on en a construit de toutes les dimensions sans arriver jusqu'aujourd'hui à un résultat vraiment satisfaisant. Voilà pourquoi je n'en annonce pas d'autres que le cornet ordinaire.

244. **Porte-voix** de 1 mètre de longueur. . . . . **12** fr.

245. **Porte-voix** de 1 mètre 30 centimètres. . . . . **15** fr.

246. **Phonoscope** de M. Plassiart. . . . . **30** fr.

Cet instrument, à l'usage des violonistes, permet d'examiner la justesse des cordes d'une manière expéditive et sûre.

Il consiste essentiellement dans un curseur qui glisse sur une planche sur laquelle on étend la corde à examiner. Le curseur porte deux pinces en ébène, espacées de manière qu'elles découpent sur la corde une longueur égale à l'intervalle entre le chevalet et le sillet du violon ; un petit martelet, fixé exactement à égale distance des deux pinces, appuie sur le milieu de la partie de corde isolée par ces pinces, et la divise en deux moitiés égales, qu'on peut faire résonner avec deux doigts. Si elles ne sont pas à l'unisson, et si l'oreille saisit aisément la moindre dissonance, c'est que la corde est d'une épaisseur irrégulière dans l'endroit qu'on examine, qu'elle y manque d'homogénéité, et alors on déplace le curseur pour continuer l'exploration de la corde. De cette manière, on arrive promptement à découvrir les parties homogènes et pures des cordes que l'on possède, et si elles sont imparfaites, on reconnaît au moins dans quel sens varie leur épaisseur, et l'on peut les monter de façon que le bout le plus mince se trouve du côté du chevalet.

XI

Quelques modèles d'anatomie clastique du Dr Auzoux.

247. **Oreille,** temporal de 60 centimètres de long, montrant l'oreille interne, externe et moyenne dans ses plus petits détails, l'épanouissement des nerfs auditifs, etc., appareil complet d'audition. . . . . **150** fr.

248. **Oreille** moitié moins grande que la précédente, offrant les mêmes détails. **100** fr.

249. **Oreille** des oiseaux dans des proportions gigantesques. . . . . **50** fr.

250. **Oreille** des poissons dans des proportions gigantesques. . . . . **50** fr.

251. **Larynx de grande dimension,** cartilages, muscles, vaisseaux et nerfs. **10** fr.

PARIS. — IMP. SIXON RAÇON ET COMP., RUE D'ERFURTH, 1.

PARIS. — IMP. SIMON RAÇON ET COMP., RUE D'ERFURTH, 1

3 2044 004 476 511

DOES NOT
CIRCULATE